



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR- TM141585

PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME SERAT SISAL-EPOXY DAN STRUKTUR SERAT TERHADAP KARAKTERISTIK TARIK KOMPOSIT

NOVIA AYU LAELY PUTRI
NRP. 2111 100 048

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TM141585

EFFECT OF VOLUME FRACTION SISAL FIBER- EPOXY AND FIBER STRUCTURE ON TENSILE PROPERTIES OF COMPOSITE

NOVIA AYU LAELY PUTRI
NRP. 2111 100 048

Advisor Lecture
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

Mechanical Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Surabaya Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME SERAT SISAL-EPOXY DAN STRUKTUR SERAT TERHADAP KARAKTERISTIK TARIK KOMPOSIT

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Metalurgi Program Studi S-1
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**NOVIA AYU LAELY PUTRI
NRP. 2111 100 048**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA (Pembimbing)
NIP. 19501211 198502 1 001
2. Suwarno, ST., MSc. Ph.D (Penguji I)
NIP. 19800520 200501 1 003
3. Wahyu Wijanarko, ST., MSc (Penguji II)
NIP. 19820209 201212 1 001
4. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT (Penguji III)
NIP. 19740703 200003 1 001

**SURABAYA
JANUARI, 2016**

PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME SERAT SISAL-*EPOXY* DAN STRUKTUR SERAT TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT

Nama Mahasiswa : Novia Ayu Laely Putri
NRP : 2111 100 048
Jurusan : Teknik Mesin FTI ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

ABSTRAK

Industri otomotif telah menanggapi isu global tentang krisis energi dengan banyak memproduksi kendaraan yang hemat bahan bakar dan memiliki berat yang ringan. *Body* kendaraan merupakan komponen yang paling mudah dimodifikasi untuk mengurangi berat kendaraan, dan material yang sesuai yaitu dengan komposit berpenguat serat alam. Serat alam merupakan alternatif *filler* komposit untuk berbagai komposit polimer karena keunggulannya dibanding serat sintetis. Di antara berbagai jenis serat alam, sisal merupakan salah satu tanaman yang paling banyak digunakan. Serat sisal merupakan penguat yang menjanjikan untuk digunakan sebagai komposit karena harganya yang murah, densitasnya rendah, kekuatan spesifik dan modulusnya tinggi, tanpa resiko kesehatan serta tersedia melimpah dan merupakan bahan alam terbarukan.

Material yang diteliti menggunakan komposisi berupa *epoxy* resin dan serat sisal. Spesimen uji tarik dibuat sesuai dimensi ASTM D3039-105 dengan variasi struktur serat sisal *chopped*, *continue*, *woven* dan masing-masing struktur divariasikan dengan fraksi volume serat sisal 40%, 50%, 60%. Komposit dibuat dengan komposisi yang sudah ditentukan, dan dituang dalam cetakan, dibiarkan mengeras dengan temperatur kamar selama 24 jam, spesimen yang sudah jadi dilakukan uji tarik untuk mengetahui sifat mekanik yang terjadi pada komposit.

Hasil penelitian yang didapatkan yaitu struktur serat continue menghasilkan nilai tegangan tarik tertinggi, kemudian struktur woven dan yang terendah yaitu struktur chopped. Semakin besar fraksi volume serat sisal pada komposit maka nilai tegangannya akan semakin besar. Pada komposit struktur continue dengan fraksi volume 60% menghasilkan nilai tegangan tertinggi yaitu sebesar 61.159 MPa. Sedangkan pada komposit struktur chopped dengan fraksi volume 40% menghasilkan nilai tegangan terendah yaitu sebesar 23.52 MPa. Hal ini dikarenakan komposit yang struktur seratnya searah dengan gaya yang bekerja akan memberikan ikatan serat dengan resin yang baik untuk posisi specimen saat diuji sehingga serat lebih sulit putus dan menambah kekuatan tarik komposit.

Kata kunci : komposit, serat sisal, epoxy, fraksi volume, struktur serat, kekuatan tarik

EFFECT OF VOLUME FRACTION EPOXY-SISAL FIBER AND FIBER STRUCTURE ON TENSILE PROPERTIES OF COMPOSITE

Name : Novia Ayu Laely Putri
NRP : 2111 100 048
Departement : Teknik Mesin FTI ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

ABSTRACT

The automotive industry has responded to the global issues of energy crisis by producing more fuel-efficient and a light weighted vehicles. The vehicle body is the most easily modified component to reduce the weight of vehicles, and the corresponding material composite fiber is by nature. Natural fiber composites are an alternative filler for various polymer composite because of its superiority compared to synthetic fibers. Among the various types of natural fibers, sisal plant is one of the most widely used fiber. Sisal fiber amplifier is promising to be used as composite because the price is cheap, has low density, with high specific strength and modulus, without health risks and is available in abundance and is a renewable natural material.

The material studied using the composition is in the form of epoxy resin and sisal fibers. Tensile test specimens made according to ASTM D3039-105 dimension by varying the structure of sisal fiber chopped, continue, woven and each structure varied with sisal fiber volume fraction 40%, 50%, 60% composites made with a predetermined composition, and poured in mold, allowed to hardened at room temperature for 24 hours, the finished specimens were tested to determine the tensile mechanical properties that occur in the composite.

The research result obtained that the continue fiber structure generated the highest tensile stress values, followed by the woven structure and the smallest tensile stress value is

generated by the chopped structure. The greater the volume fraction of sisal fiber in composites, the voltage value will be significantly grate. In the continue composite structure with a volume fraction of 60% produces the highest voltage value that is equal to 61.159 MPa. While the chopped composite structure with a volume fraction of 40% produces a value that is equal to the lowest voltage 23.52 MPa. Tgisi is because the fiber composite structure that has the same direction as the given force will provide a better fiber bond to the resin for the position of the specimen when tested, causing the fiber difficult to break up from each other and anhanced the tensile strength of the composite.

Keywords : composite, sisal fiber, epoxy, volume fraction, fiber structure, tensile strength

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warohmatulloh Wabarokatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas segala limpahan rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul : Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat Sisal-*Epoxy* dan Struktur Serat Terhadap Karakteristik Tarik Komposit.

Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selanjutnya penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu terselesaikannya penelitian Tugas Akhir ini, antara lain :

1. **Mama dan Papa** tersayang. Terimakasih untuk segala doa dan dukungannya, terimakasih karena tidak pernah lelah memberikan semangat, motivasi, perhatian, cinta dan kasih sayang yang begitu berharga dan mungkin tidak bisa terbalaskan. Semoga ini bisa membuat mama, papa tersenyum bangga nantinya.
2. **Mas Bryan, Adek Farda**. Terimakasih untuk motivasi, canda tawa, keceriaan, dan kebahagiaan di rumah yang tak terlupakan.
3. **Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA** selaku dosen pembimbing. Terimakasih untuk segala bimbingannya, nasehat, saran, kritik dan waktu yang diberikan di tengah-tengah kesibukan Bapak.
4. **Wahyu Wijanarko, ST., MSc. , Suwarno., ST., MSc. Ph.D , Dr. Eng. Sutikno, ST., MT** selaku dosen penguji dan pembahas tugas akhir. Terimakasih ilmu, kritik dan saran yang telah diberikan.
5. **Dr. Eng. Prabowo** , selaku dosen wali selama menjalani perkuliahan di Teknik Mesin. Terimakasih untuk bimbingan dan saran yang diberikan.

6. **Gayuh Agung Pamuji.** Terimakasih karena selalu menemani, memberikan motivasi, cinta, perhatian, kesabaran, dan segalanya. Terimakasih untuk hari-hari yang telah dilewati bersama dan hari-hari esok selanjutnya.
7. **Rifqoh, Dewi Nastiti A.** Terimakasih kebersamaan setiap harinya menghadapi semua tantangan tugas akhir dengan penuh tangis dan canda tawa bersama yang tak terlupakan.
8. **Cahyaningsih, Pindra.** Terimakasih untuk kekompakan, perhatian, dan kasih sayangnya menjadi umik Rifqoh bersaudara selama ini.
9. **Mas Galang, Mas Bustan, Refki, Chandra, Aji, Bra, Mas Yordi, Fadli, Esty, Scania, Alvin, Selvi, Tasa, dan Warga Lab Metalurgi lainnya** yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih untuk keceriaan di Lab setiap harinya, dan terimakasih sudah berbagi semangat, saran, nasehat dan ilmu selama ini.
10. **Tohir, Mamet, Oci, Satpam, Kidut, Hisyam, Hanif, Dinar, Nabil, Gopel, Zaqqi, Fahmi, Zaldy dan Bengkellers 2011 lainnya.** Terimakasih untuk pengalaman dan kebersamaan selama ini.
11. Mbak Dori, Elsa, Beta, Zahrah, Istina, Intan, Uwik, Betari, Ayu, Devi, Manda, Panco, Tya, Dila (**Female Bengkelers**) , terimakasih canda tawa, pengalaman, serta semangatnya.
12. **Para Punggawa LBMM (Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin)** dari kepengurusan tahun 2008-2015 yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih untuk ilmu yang telah diberikan dan keceriaan serta persaudaraan yang terjalin selama ini.
13. **Ciwi-ciwi M54 dan Semua Teman-Teman Angkatan 2011 Teknik Mesin ITS.** Terimakasih pengalaman sedih dan senang bersama yang tidak terlupakan.

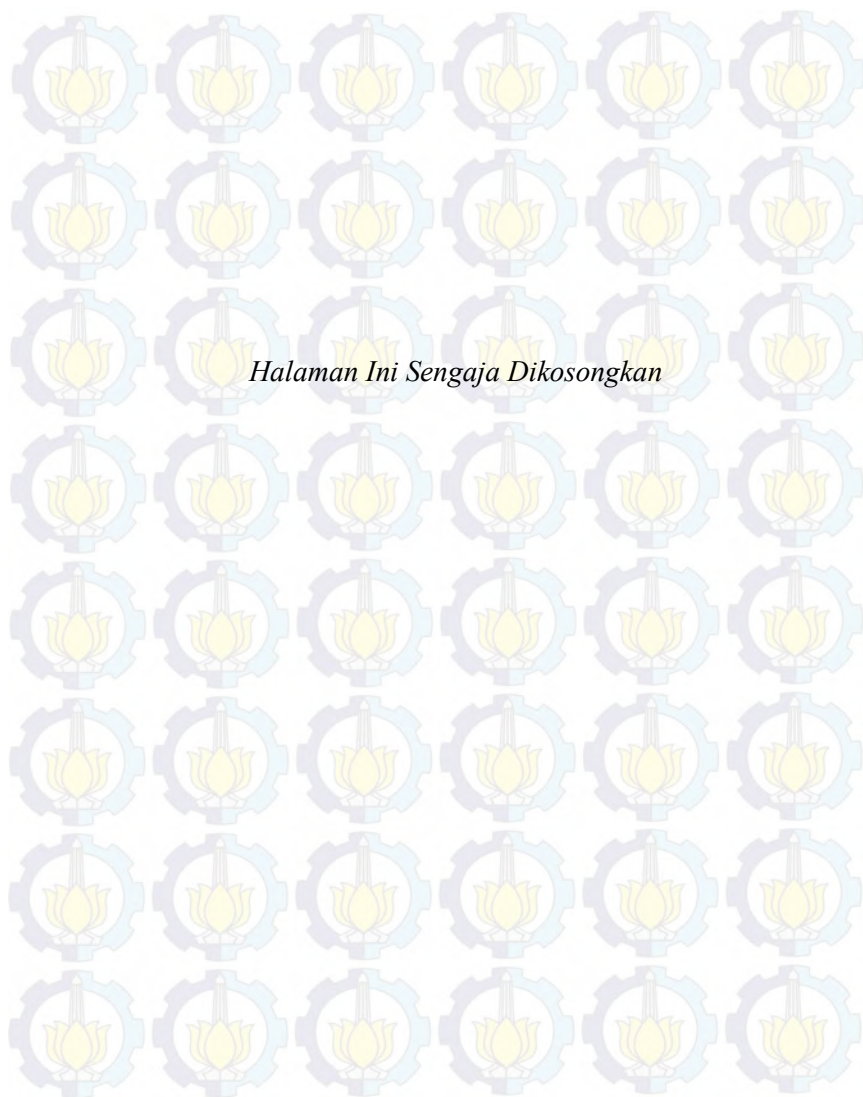
14. **Bias, Desy, Lusy, Siswi, Riska, Istna, Dila (x2f).** Terimakasih untuk persaudaraan yang terjalin dan motivasi serta doa yang diberikan.
15. **Mbahbuk, Yangti, dan Keluarga Besar Noesron-Ramli S.** Terimakasih doa dan dukunganya.
16. **Pak Suhadi (BPPT Bogor), Pak Marjani dan Pak Suhadi (Balittas Malang), Mas Basar (Tek.Sipil ITS)** yang telah membantu dalam proses penelitian tugas akhir ini.
17. Bapak Ibu karyawan dan Bapak Ibu Dosen di Jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan bantuan dan ilmunya kepada penulis
18. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu persatu di halaman ini.

Penulis sadar bahwa penulisan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua.

Wassalaamu'alaikum Warohmatulloh Wabarokatuh

Surabaya, Januari 2016

Penulis



DAFTAR ISI

JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan Penelitian	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Komposit	9
2.2.1 Penguat	10
2.2.2 Matriks	12
2.3 <i>Polymer Matrix Composite</i> (PMC)	13
2.4 <i>Epoxy</i> Resin	15
2.5 Sifat Komposit Serat Alam	16
2.6 Serat Sisal	18
2.7 Perhitungan Komposit	20
2.7.1 Karakteristik Umum	20
2.7.2 Karakteristik Campuran	21
2.8 Proses <i>Curing</i>	21
2.9 Pengujian Spesimen dengan Pengujian Tarik	22
2.10 <i>Rules of Mixture</i>	25

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	27
-----------------------------	----

3.2	Material	28
3.3	Peralatan yang Digunakan.....	29
3.4	Variabel Penelitian	30
3.5	Langkah-langkah Percobaan	31
3.5.1	Pembentukan Komposit	31
3.5.2	Pengamatan Bentuk Fisik Komposit	32
3.5.3	Pembentukan Spesimen.....	32
3.6	Prosedur Perhitungan Massa Jenis Komposit.....	32
3.7	Pelaksanaan Uji Tarik	33
3.7.1	Spesimen Uji Tarik.....	33
3.7.2	Prosedur Uji Tarik	33
3.8	Rancangan Penelitian Uji Tarik	34

BAB IV DATA HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Pengujian Tarik.....	35
4.1.1	Pengaruh Penambahan Fraksi Volume Serat Sisal dan Struktur Serat Sisal Terhadap Tegangan Tarik Komposit <i>Epoxy</i> -Serat Sisal	38
4.1.2	Pengaruh Penambahan Fraksi Volume Serat Sisal dan Struktur Serat Sisal Terhadap Regangan Tarik Komposit <i>Epoxy</i> -Serat Sisal	40
4.2	Hasil Pengamatan Foto Makro Patahan Spesimen Uji Tarik	42
4.2.1	Spesimen dengan Struktur Serat <i>Chopped</i>	42
4.2.2	Spesimen dengan Struktur Serat <i>Woven</i>	43
4.2.3	Spesimen dengan Struktur Serat <i>Continue</i>	44
4.3	Pembahasan Pengaruh Variasi Fraksi Volume dan Tipe Struktur Serat Sisal Terhadap Tegangan-Regangan Tarik Komposit	45
4.4	Pembahasan Pengaruh Variasi Fraksi Volume dan Tipe Struktur Serat Sisal Terhadap <i>Density</i> Komposit	48
4.5	Pengamatan Hasil SEM pada Patahan Komposit.....	49

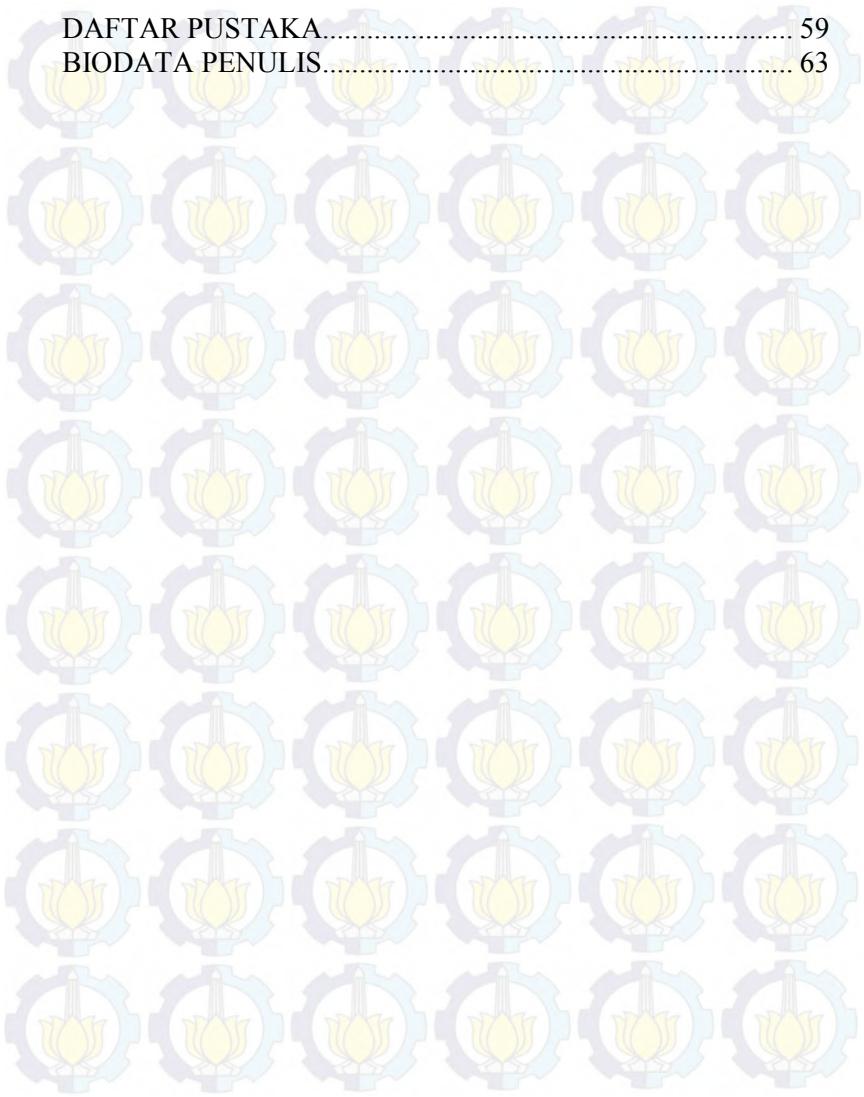
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	57
-----	-----------------	----

5.2 Saran..... 58

DAFTAR PUSTAKA..... 59

BIODATA PENULIS..... 63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbandingan Komposit dengan Metal yang Lain	5
Gambar 2.2	Hasil Uji Tarik Komposit <i>Epoxy</i> -Serat Nenas.....	7
Gambar 2.3	Grafik Kekuatan Tarik Komposit Sisal dan Vakka	8
Gambar 2.4	Klasifikasi Komposit.....	10
Gambar 2.5	Komposit Berpenguat Serat.....	11
Gambar 2.6	Komposit Berpenguat Lapis	11
Gambar 2.7	Komposit Berpenguat Partikel.....	11
Gambar 2.8	Jenis-jenis Komposit Hibrida Berdasar Penyusun	12
Gambar 2.9	Fase-fase dalam Komposit.....	13
Gambar 2.10	Ikatan Atom Pada Polimer.....	14
Gambar 2.11	Serat Sisal	18
Gambar 2.12	Penampakan dari Beberapa Mode Kegagalan pada Uji Tarik Komposit.....	24
Gambar 2.13	Diagram Tegangan dan Regangan Untuk Arah Pembebanan Parallel Arah Serat	25
Gambar 2.14	Molekul Penyusun Komposit	26
Gambar 3.1	Skema Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2	<i>Epoxy</i> Resin dan Hardener	28
Gambar 3.3	Serat Sisal (a) <i>Continue</i> , (b) <i>Chopped</i> , (c) <i>Woven</i>	28
Gambar 3.4	Mesin Uji Tarik	29
Gambar 3.5	Cetakan Plastisin	29
Gambar 3.6	<i>Scanning Electron Microscope</i> Zeiss EVO MA 10	30
Gambar 3.7	Spesimen Uji Tarik (mm)	33
Gambar 4.1	Spesimen yang telah dilakukan Uji Tarik. (a) Tipe <i>Chopped</i> , (b) Tipe <i>Woven</i> ,(c) Tipe <i>Continue</i>	37

Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Nilai Tegangan Tarik Terhadap Struktur dan Fraksi Volume Serat Sisal	38
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Nilai Regangan Tarik Terhadap Struktur dan Fraksi Volume Serat Sisal	40
Gambar 4.4	Foto Makro Patahan Spesimen tipe <i>Chopped</i> dengan Fraksi Volume 60% (a) Tampak Samping , (b) Tampak Atas	42
Gambar 4.5	Foto Makro Patahan Spesimen tipe <i>Woven</i> dengan Fraksi Volume 60% (a) Tampak Samping , (b) Tampak Atas.....	43
Gambar 4.6	Foto Makro Patahan Spesimen tipe <i>Continue</i> dengan Fraksi Volume 60% (a) Tampak Samping , (b) Tampak Atas	44
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan antara Tegangan Tarik Hasil Pengujian dengan Tegangan Tarik Teoritis Hasil Perhitungan.....	45
Gambar 4.8	Pembahasan Pengaruh Variasi Fraksi Volume dan Tipe Struktur Serat Sisal Terhadap <i>Density</i> Komposit	48
Gambar 4.9	Foto SEM komposit Tipe Struktur <i>Chopped</i> dengan fraksi volume 60% serat sisal a) Tampak Depan (perbesaran 30x), (b) Tampak Depan (perbesaran 100x), (c) Tampak Samping (perbesaran 80x), dan (d) Tampak Samping (perbesaran 300x)	51
Gambar 4.10	Foto SEM komposit Tipe Struktur <i>Continue</i> dengan fraksi volume 60% serat sisal a) Tampak Depan (perbesaran 30x), (b) Tampak Depan (perbesaran 100x), (c) Tampak Samping (perbesaran 80x)	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Tensile properties of neat epoxy and short sisal reinforced epoxy composite</i>	8
Tabel 2.2	Perbandingan <i>Epoxy</i> Resin dan Polimer Lain..	16
Tabel 2.3	Sifat Serat Sisal.....	20
Tabel 3.1	Variasi Fraksi Volume dan Struktur Serat Sisal - <i>Epoxy</i> Resin	31
Tabel 3.2	Data Pengujian Tarik Berdasarkan Variasi Fraksi Volume Serat dan Struktur Serat Sisal	34
Tabel 3.3	Data pengujian tarik berdasarkan variasi fraksi volume serat sisal.....	
Tabel 3.4	Data pengujian tarik berdasarkan variasi struktur serat sisal.....	
Tabel 4.1	Hasil Uji Tarik Komposit <i>Epoxy</i> – Serat Sisal	35

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin menipisnya sumber energi yang ada telah menjadi ancaman serius dan menjadi tantangan bagi masyarakat dunia. Industri otomotif telah menanggapi isu global tentang krisis energi tersebut dengan banyak memproduksi kendaraan yang hemat bahan bakar dan memiliki berat yang ringan. Dengan mengurangi berat kendaraan maka semakin rendah pula konsumsi energinya. *Body* kendaraan adalah salah satu komponen yang bisa dimodifikasi untuk mengurangi berat kendaraan, dan material yang sesuai dipergunakan dalam krisis energi untuk memproduksi *body* kendaraan yang ringan yaitu dengan komposit berpenguat serat alam.

Serat alam merupakan alternatif *filler* komposit untuk berbagai komposit polimer karena keunggulannya dibanding serat sintetis. Serat alam mudah didapatkan dengan harga yang murah, mudah diproses, densitasnya rendah, ramah lingkungan, produksi memerlukan energi yang rendah, mempunyai insulasi panas dan akustik yang baik, dan dapat diuraikan secara biologi [1].

Serat buah, batang, dan daun merupakan komoditas serat alam yang sebelumnya kurang memperoleh perhatian, baik oleh pemerintah, petani, maupun pengusaha. Namun pada saat ini dan di masa yang akan datang, komoditas yang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku berbagai industri. Kegunaan masing-masing komoditas adalah sebagai berikut: a) Komoditas serat buah: kapas untuk tekstil dan pulp, kapuk untuk tekstil, kasur, jok mobil, dll. Sabut kelapa untuk industri karpet, keset, campuran untuk industri karet. b) Komoditas serat batang: kenaf, rosella, yute, rami, linum, urena untuk bahan baku *pulp*, dan kertas, fibreboard, tekstil, karpet, kerajinan, dll. c) Komoditas serat daun: abaka, *agave* (sisal), nanas, dll untuk tekstil, pulp, kertas, geotekstil, dll. Diantara berbagai jenis serat alam, sisal

merupakan salah satu tanaman yang paling banyak digunakan. Pengambilan serat sisal dapat dilakukan dengan pembusukan maupun penyisiran menggunakan dekortikator. Secara konvensional, serat sisal sering digunakan sebagai bahan baku pada pembuatan tali, tikar, karpet, kerajinan, dan lain-lain. Secara teknis, serat sisal potensial untuk digunakan sebagai komposit bagi bahan bangunan, kendaraan, rel kereta api, geotekstil, hingga kemasan [2].

Di India, industri kendaraan telah menggunakan komposit serat sisal mengingat sifatnya yang 10% lebih ringan, hemat energi produksi hingga 80%, dan hemat biaya hingga 5%. Di Eropa, Daimler-Benz membuat komposit serat alam untuk panel pintu *Mercedes-Benz E-Class* dan *S-Class*, dengan menggunakan serat sisal-*epoxy*, hasilnya cukup mengagumkan, reduksi berat sekitar 20% dan sifat mekanik yang berperan sebagai proteksi penumpang ketika terjadi kecelakaan juga meningkat [1]. Di Indonesia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) mencoba membuat komposit serat alam untuk bumper kendaraan roda 4, dengan menggunakan serat sisal-*polyester*.

Pada penelitian ini, akan dibahas tentang pengaruh dari variasi struktur serat sisal dan variasi fraksi volume serat sisal terhadap karakteristik tarik komposit dengan matriks *epoxy*. Variasi penambahan serat sisal yang digunakan adalah dengan fraksi volume 40%, 50%, 60%. Dan struktur serat yang digunakan yaitu *chopped*, *continue*, *woven* sehingga nantinya data yang diperoleh dapat digunakan dalam proses produksi komponen *body* kendaraan.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh struktur serat sisal terhadap karakteristik tarik komposit *epoxy* – serat sisal
2. Bagaimana pengaruh fraksi volume serat sisal terhadap karakteristik tarik komposit *epoxy* – serat sisal

1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan penelitian dilakukan adalah sebagai berikut :

1. mengetahui pengaruh struktur serat sisal terhadap karakteristik tarik komposit *epoxy* – serat sisal
2. mengetahui pengaruh fraksi volume serat sisal terhadap karakteristik tarik komposit *epoxy* – serat sisal

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Suhu ruangan pada proses pembuatan dan pengujian dianggap konstan
2. Kadar air pada serat sisal dianggap konstan
3. Ukuran serat sisal di dalam matriks pada satu variabel dianggap sama
4. Distribusi serat sisal didalam matriks dianggap rata pada pembuatan komposit

1.5 Sistematika Penulisan Penelitian

Penulisan disusun dalam enam bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, data hasil penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah serta tujuan penelitian.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab dasar teori menjelaskan teori-teori dasar mengenai komposit dan jenisnya, polimer, perhitungan komposit, konsep pengujian kompresi.

BAB 3 METODOLOGI PERCOBAAN

Pada bab metodologi penelitian dijelaskan tentang data spesimen yang digunakan, metode pengujian yang digunakan, diagram alir, metode manufaktur, metode pengumpulan data dan segala bentuk prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini.

BAB 4 DATA HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menampilkan pengolahan data dari hasil pengujian yang telah dilakukan dan menampilkan pembahasan dari data yang didapatkan saat pengujian. Analisa kegagalan akan diamati dengan menggunakan foto makro dan foto SEM.

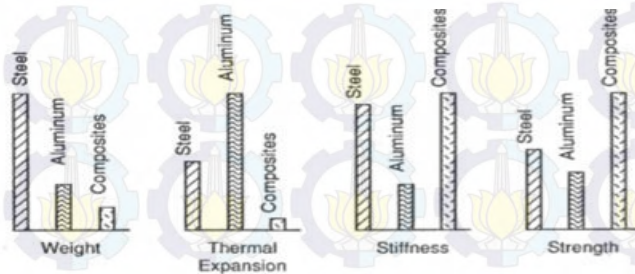
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini kesimpulan dan saran diberikan dengan menarik kesimpulan dari hasil pengujian yang telah dianalisa dan juga saran untuk penelitian berikutnya.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dengan semakin berkembangnya teknologi komposit, maka memungkinkan komposit dapat didesain sedemikian rupa sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan sehingga dapat dibuat menjadi lebih kuat, ringan, kaku, dan lebih tahan panas. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi, dan konstruksi bangunan.



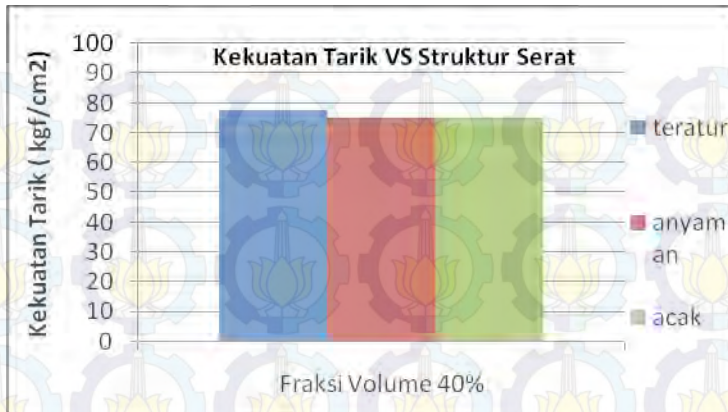
Gambar 2.1. Perbandingan Komposit dengan Metal Lain [3].

Gambar 2.1. menunjukkan material seperti baja dan aluminium dengan komposit. Alasan memilih aluminium dan besi karena material tersebut banyak digunakan di dunia industri, jadi hal itu menunjukkan bahwa berat komposit jauh lebih ringan daripada kedua material tersebut. Begitu pula perbandingan *thermal expansion* dari komposit yang rendah sehingga baik digunakan pada media kerja bertemperatur tinggi. Selain itu, kekuatan dan kekakuan komposit lebih tinggi daripada aluminium dan baja.

Penelitian tentang karakteristik tarik pengaruh penambahan fraksi volume *Epoxy*-Serat sisal masih sedikit. Beberapa variasi tentang struktur serat serta fraksi volumenya masih belum diteliti sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mendukung data sebelumnya.

Salah satu penelitian terdahulu mengenai komposit polimer serat alam telah dilakukan oleh Paramasivam dan Abdulkalam [4] dengan menggabungkan serat sisal di dalam matriks *epoxy*. Proses pembuatannya dilakukan dengan penggulungan dan laminasi. Pembuatan komposit jenis ini relatif mudah dengan biaya produksi yang rendah. Kekuatan tarik komposit sisal-*epoxy* sebesar 250-300 MPa atau setengah dari kekuatan tarik komposit serat gelas-*epoxy* dengan komposisi yang sama. Densitas serat sisal yang rendah menjadikan kekuatan komposit sisal dapat disejajarkan dengan komposit gelas. Modulus komposit sisal-*epoxy* yang searah sebesar 8.5 GPa. Hal ini menunjukkan kemungkinan pengembangan komposit dengan kombinasi serat alam yang melimpah untuk digunakan sebagai bahan bangunan maupun struktur jalan.

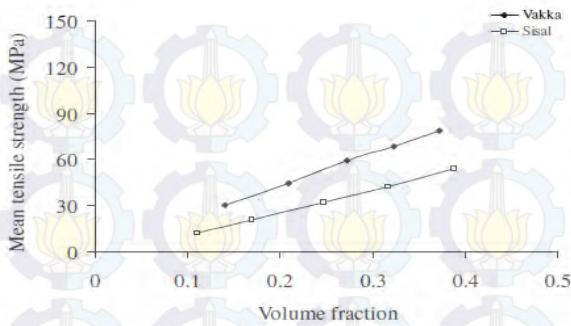
Suatu penelitian dilakukan oleh Teuku Rihayat dan Suryani [5] mengenai pembuatan polimer komposit ramah lingkungan untuk aplikasi industri otomotif dan elektronik. Penelitian ini menggunakan serat daun nenas yang dicampur dengan matriks *epoxy* dengan metode *hand lay up*. Variasi yang digunakan yaitu tipe struktur serat sisal yaitu teratur, anyaman, dan acak dengan fraksi volume 40%. Dan hasilnya diperoleh seperti grafik dibawah ini



Gambar 2.2 Hasil Uji Tarik Komposit *Epoxy*–Serat Nenas [5]

Arah orientasi merupakan hal penting dalam penguat komposit (kekuatan tarik), karena arah orientasi serat berkaitan dengan penyebaran gaya yang bekerja pada komposit, jadi dapat diketahui bahwa serat paling maksimum jika arah serat searah (teratur). Kekuatan komposit akan berkurang dengan perubahan sudut dari serat, sehingga komposit akan mempunyai kekuatan yang baik jika struktur serat dan gaya yang bekerja searah.

K.Murali Mohan, K.Mohana, A.V.R Prasad [6] melakukan penelitian mengenai Pengaruh Fraksi Volume Serat Vakka dan Sisal terhadap Kekuatan Tarik komposit dan hasilnya yaitu seperti pada grafik dibawah :



Gambar 2.3 Grafik Kekuatan Tarik Komposit Sisal dan Vakka

Dapat dilihat pada grafik, seiring bertambahnya fraksi volume pada serat vakka dan sisal nilai kekuatan tariknya semakin meningkat.

H.O Maurya, M.K Gupta, R.K Srivastava, H.Singh [7] melakukan penelitian mengenai pengaruh ukuran panjang serat terhadap kekuatan tarik komposit *epoxy*-serat sisal. Dengan menvariasikan ukuran serat sisal yaitu 5mm, 10mm, 15mm, 20mm. specimen dibuat dengan fraksi volume epoxy : serat sisal yaitu 70:30. Hasil penelitian ini ditunjukkkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 *Tensile Properties of Neat Epoxy and Short Sisal Reinforced Epoxy Composite*

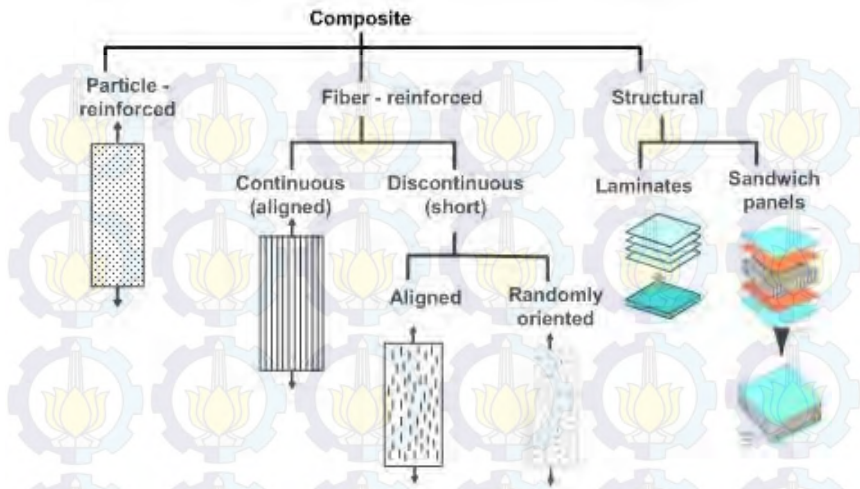
Composite	Tensile strength (MPa)	S.D.	Tensile modulus (GPa)	S.D.
E	46.08	3.66	0.065	0.006
S5	32.30	1.30	0.138	0.013
S10	40.25	3.47	0.187	0.018
S15	33.75	1.78	0.179	0.014
S20	33.47	2.58	0.115	0.009

Komposit yang menghasilkan kekuatan tarik paling optimum yaitu dengan ukuran panjang serat 10mm dengan kekuatan tarik sebesar 40.25 MPa.

Suatu langkah penting menuju aplikasi dengan kinerja yang lebih tinggi dicapai oleh Daimler-Benz dengan membuat komposit serat alam untuk panel pintu *Mercedes-Benz E-Class* dan *S-Class*. Semula digunakan material serat kayu keras untuk panel pintu diganti dengan komposit serat flax/sisal yang direkat dengan matrik *epoxy*. Hasilnya cukup mengagumkan, reduksi berat sekitar 20% telah dicapai, dan sifat mekanik yang berperan sebagai proteksi penumpang ketika terjadi kecelakaan juga meningkat. Selanjutnya, serat flax/sisal telah berhasil dicetak ke dalam bentuk 3 dimensi yang kompleks, sehingga cocok untuk pembuatan panel trim pintu. Daimler-Benz juga bekerjasama dengan UNICEF untuk mengembangkan komposit berpenguat serat alam *abaca* sebagai komponen panel interior, *trim* pintu, rak, dan *daskboard* mobil mewah lainnya [1].

2.2 Komposit

Komposit didefinisikan sebagai material yang terdiri dari dua atau lebih material penyusun yang berbeda, umumnya matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks dapat didefinisikan sebagai suatu bagian dari komposit yang berfungsi sebagai pengikat penguat yang satu dengan yang lainnya serta mendistribusikan dengan baik beban yang diterima oleh komposit ke penguat. Sedangkan penguat adalah komponen yang dimasukkan ke dalam matriks yang berfungsi sebagai penerima atau penahan beban utama yang dialami oleh komposit dan memiliki sifat lebih kuat dari matriks serta sebagai tempat melekatnya matriks.



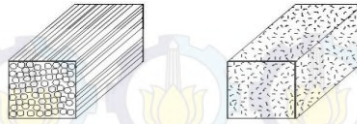
Gambar 2.4 Klasifikasi Komposit [8]

Kelebihan material ini jika dibandingkan dengan logam adalah perbandingan kekuatan terhadap densitas yang lebih baik serta sifat ketahanan korosinya. Sehingga banyak dikembangkan material alternatif sebagai pengganti logam dikarenakan keterbatasan jumlah yang ada di alam. Komposit yang paling banyak dikembangkan adalah PMC (*Polymer Matrix Composites*)

2.2.1 Penguat

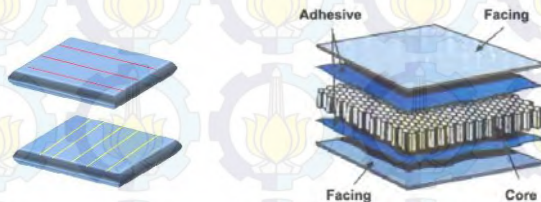
Berdasarkan jenis penguatnya komposit dibagi menjadi :

1. Material komposit serat (*fibricus composite*), yaitu komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya serat+resin sebagai bahan perekat, sebagai contoh adalah FRP (*Fiber Reinforce Plastic*) plastik diperkuat dengan serat, yang banyak digunakan disebut *fiber glass*



Gambar 2.5 Komposit Berpenguat Serat [9]

2. Komposit lapis (*laminated composite*), yaitu komposit yang terdiri dari lapisan dan bahan penguat, contohnya *polywood*, *laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya.



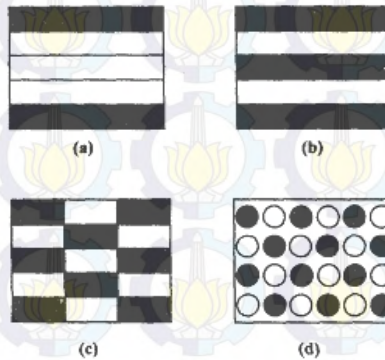
Gambar 2.6 Komposit Berpenguat Lapis [10]

3. Komposit partikel (*particulate composite*), yaitu komposit yang terdiri dari partikel dan bahan penguat seperti butiran (batu dan pasir) yang diperkuat dengan semen yang sering kita jumpai sebagai beton.



Gambar 2.7 Komposit Berpenguat Partikel [9]

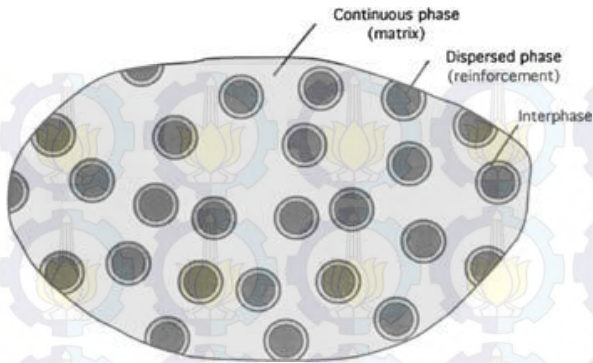
4. *Hybrid composite* merupakan suatu jenis komposit yang penguatnya terdiri atas lebih dari satu jenis penguat ke dalam satu matriks. Tingkat pencampuran dapat dalam skala kecil (serat) ataupun dalam skala besar (*layer*). Tujuan dari hibridisasi adalah untuk menyusun suatu material baru yang mengandung keunggulan dari penyusunnya.



Gambar 2.8 Jenis-jenis Komposit Hibrida Berdasar Penyusunnya : (a) *Sandwich* , (b) *Interplay* , (c) *Intraply* , (d) *Intimately Mixed* [10]

2.2.2 Matriks

Dalam teknologi komposit, matriks dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai pengisi dan pengikat yang mendukung, melindungi, dan dapat mendistribusikan beban dengan baik ke material penguat komposit.



Gambar 2.9 Fase-fase dalam Komposit [11]

Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu :

1. **PMC (Polymer Matrix Composite)**
Merupakan komposit yang menggunakan material polimer sebagai matriksnya. Contohnya adalah : *GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)* dan *CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)*.
2. **CMC (Ceramic Reinforced Composite)**
Adalah komposit yang menggunakan material keramik sebagai fase pengisinya (matriks). Contohnya adalah : *Boron reinforced SiC*.
3. **MMC (Metal Matrix Composite)**
Merupakan komposit yang menggunakan material logam sebagai matriks. Contohnya adalah : *Carbon reinforced aluminium*.

2.3 Polimer Matrix Composite (PMC)

Polimer berasal dari kata *poly* yang berarti banyak dan *meros* yang berarti bagian, jadi polimer dapat didefinisikan sebagai suatu material yang molekulnya dibentuk dari beberapa bagian (monomer). Umumnya polimer terbentuk dari hidrokarbon

dimana atom karbon (C) sebagai tulang punggung dalam rantai ikatan kimianya. *Polymer Matrix Composite* merupakan salah satu jenis material komposit dimana material berbahan dasar polimer menjadi matriksnya. Dalam aplikasi komposit polimer sebagai matriks banyak disebut orang sebagai resin.

Berdasarkan sifatnya, polimer dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. *Thermosetting*

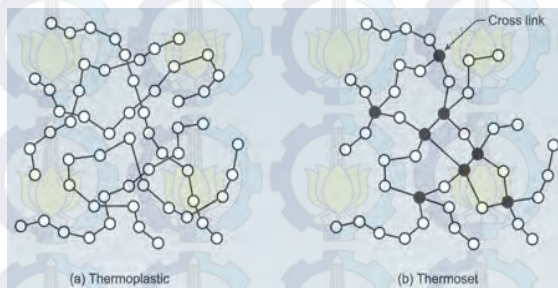
Polimer jenis ini akan semakin mengeras saat dipanaskan diatas temperatur kritisnya dan tidak dapat diperlunak dengan cara dipanaskan kembali sehingga tidak dapat dibentuk lagi melalui proses pemanasan. Polimer *thermoset* tidak dapat didaur ulang. Contoh matriks jenis polimer *thermoset* adalah *epoxy*, *polyester* dan *phenolic*.

2. Thermoplastik

Polimer jenis ini dapat diperlunak saat dipanaskan diatas temperatur kritisnya. Polimer thermoplastik ini dapat didaur ulang melalui pemanasan. Contoh polimer thermoplastik adalah *polyethylene* (PE), *polyvinyl chloride* (PVC) dan *polystyrene*.

3. *Elastomer*

Merupakan jenis polimer yang dapat kembali ke bentuk asal setelah tegangan yang diberikan dihilangkan, contoh : karet.



Gambar 2.10 Ikatan Atom pada Polimer [11]

2.4 Epoxy Resin

Epoxy adalah suatu kopolimer, terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda. Ini disebut sebagai “resin” dan “pengeras”. Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan kelompok epoksida di kedua ujung. *Epoxy* resin paling umum yang dihasilkan dari reaksi antara *epiklorohidin* dan *bisphenol-A*, meskipun yang terakhir mungkin akan digantikan dengan bahan kimia yang serupa. Pengeras terdiri dari monomer *polyamine*, misalnya *Triethylenetetramine* (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok *epoksida*, sehingga polimer yang dihasilkan sangat silang, dan dengan demikian kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut “*curing*”, dan dapat dikontrol melalui suhu.

Sebagaimana jenis plastik lain, kebanyakan plastik adalah isolator listrik dan konduktor panas yang buruk. Kecuali bila ditambahkan campuran, misalnya serbuk logam / karbon lain. Dalam bentuk asli *epoxy* resin memiliki sifat keras dan getas. tetapi dalam penggunaan, plastik hampir selalu mengandung bahan campuran lain untuk menyesuaikan sifat mekaniknya. Sifat mekanik dari *Epoxy* resin sudah banyak dimodifikasi dalam penggunaannya baik dari sisi kekuatan, kekenyalan, keuletan sampai kearah sobekan.

Resin tipe ini mampu menahan resapan air (*adhesive*) sangat baik dan memiliki kekuatan mekanik yang paling tinggi. Adapun spesifikasi teknisnya adalah sebagai berikut: Massa jenis: 1.20 gr/cm, *Modulus young*: 3.2 GPa, *Angka poisson*: 0.37, Kekuatan tarik: 85 MPa

Bahan *Epoxy* cenderung mengeras secara bertahap, berbeda dengan bahan *polyester* yang cenderung mengeras dengan cepat, terutama jika banyak katalis yang digunakan. Reaksi kimia dalam kedua kasus adalah *eksotermik*. Jumlah besar

dari campuran akan menghasilkan panas mereka sendiri dan lebih mempercepat reaksi.

Resin jenis ini memiliki keunggulan yaitu memiliki temperatur transisi cukup bervariasi yaitu 50°C hingga 175°C [12] yang jika dibandingkan dengan resin jenis lain yang banyak banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri. Beberapa keunggulan dan kekurangannya terlihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Perbandingan *Epoxy Resin* dan Polimer Lain [12]

Polyesters	Advantages Easy to use Lowest cost of resins available (£1-2/kg)	Disadvantages Only moderate mechanical properties High styrene emissions in open moulds High cure shrinkage Limited range of working times
Vinylesters	Advantages Very high chemical/environmental resistance Higher mechanical properties than polyesters	Disadvantages Postcure generally required for high properties High styrene content Higher cost than polyesters (£2-4/kg) High cure shrinkage
Epoxies	Advantages High mechanical and thermal properties High water resistance Long working times available Temperature resistance can be up to 140°C wet / 220°C dry Low cure shrinkage	Disadvantages More expensive than vinylesters (£3-15/kg) Critical mixing Corrosive handling

2.5 Sifat Komposit Serat Alam

Kelebihan serat alam jika dipergunakan sebagai penguat dalam matrik polimer antara lain: (1) Dengan berat jenis yang lebih rendah jika dibandingkan antara serat gelas (2.5 g/cm³) dan serat alam (± 1.5 g/cm³) maka komposit yang dihasilkan akan lebih ringan dan kompetitif pada sifat mekanisnya (*specific properties*), (2) *Renewable* dalam jumlah yang melimpah, (3) Investasi yang lebih murah, (4) Proses produksi ramah lingkungan, (5) Tidak *abrasive* pada mesin, (6) Tidak membuat

iritasi, (7) Dapat didaur ulang, (8) *Biodegradable*, (9) Bahan Akustik serta isolasi panas yang baik, (10) *Non food grade* serta (11) Jika dibakar sempurna membentuk gas CO_2 dan H_2O . Serat alam di samping mempunyai banyak keuntungan, sesungguhnya serat alam juga banyak kelemahannya, diantaranya adalah kekuatannya yang rendah khususnya terhadap beban kejut, kehandalannya juga rendah, mudah menyerap air, tidak tahan pada suhu tinggi, kualitasnya sangat bervariasi tergantung dari musim, umur, kondisi tanah, dan lingkungan.

Serat alam mempunyai kekuatan berkisar antara 220 Mpa (serat buah kelapa) sampai dengan 1500 Mpa (serat flax) dan *Modulus Young* antara 6 GPa (serat buah kelapa) sampai dengan 80 GPa (serat flax), serta massa jenisnya berkisar $1,25 \text{ gram/cm}^3$ sampai dengan $1,5 \text{ gram/cm}^3$. Sedangkan serat gelas tipe E mempunyai kekuatan 2200 MPa dan *Modulus Young* 73 Gpa, serta massa jenis $2,55 \text{ gram/cm}^3$, sehingga untuk beberapa saat serat alam seperti flax, hemp, rami, dan sisal mempunyai modulus spesifik yang kompetitif dengan serat gelas [13].

Semakin kecil ukuran serat, maka akan memberikan perekatan dan kekuatan yang semakin baik, karena rasio antara permukaan dan volume serat semakin besar [14]. Sifat mekanik komposit sangat dipengaruhi oleh orientasi seratnya, komposit bisa bersifat *quasi-isotropic* ketika digunakan serat pendek yang diorientasikan secara acak, *anisotropic* ketika digunakan serat panjang yang diorientasikan pada beberapa arah, atau *orthotropic* ketika digunakan serat panjang yang diorientasikan terutama pada arah yang saling tegak lurus. Kekuatan komposit sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis, *geometri*, arah, distribusi, dan kandungan serat. Berdasarkan teori *Rule of Mixture* (ROM), kekuatan komposit meningkat seiring dengan penambahan kandungan serat mencapai 60-70% [15]. Menurut Brady dan Clavier (1991) [16] serat sebagai penguat komposit harus memiliki panjang sekurang-kurangnya 100 kali diameter atau lebarnya untuk memperoleh penguatan yang optimal.

Komposit serat alam dengan segala keistimewaannya sebagaimana telah disebutkan di atas, mulai dilirik oleh berbagai industri, seperti industri kereta api, kapal, otomotif, militer, alat olahraga, kedokteran, dan konstruksi bangunan sipil, bahkan sampai industri peralatan rumah tangga. Hal ini terutama didukung oleh isu masalah lingkungan dan keterbatasan sumber bahan bakar fosil. Di Jerman dan negara Eropa lainnya, komposit serat alam telah diaplikasikan untuk komponen otomotif seperti panel pintu, *hat rack* dan *back shelf*. Bahkan Daimler Chrysler telah mengaplikasikan pada mobil tipe *E-Class* dan *S-Class*. Sebagian besar komponen-komponen tersebut diproduksi terutama dengan cetak tekan, seperti yang dilakukan oleh pabrikan mobil terkenal Daimler Chrysler, BMW, Audi, dan Opel [17]

2.6 Serat Sisal



Gambar 2.11 Serat Sisal [21]

Sisal merupakan salah satu serat alam yang paling banyak digunakan dan paling mudah dibudidayakan. Sisal tumbuh liar sebagai pagar dan di sepanjang rel kereta api di India [18]. Produksi sisal di seluruh dunia mencapai hampir 4.5 juta ton tiap tahunnya. Tanzania dan Brazil merupakan negara penghasil sisal

terbesar [19]. Serat sisal merupakan serat keras yang dihasilkan dari proses *ekstraksi* daun tanaman sisal (*Agave Sisalana*). Meskipun tanaman ini berasal dari Amerika Utara dan Selatan, sisal dapat tumbuh dengan baik hingga di Afrika, Hindia Barat, dan Timur jauh. Tanaman sisal dapat menghasilkan 200- 250 daun, dimana masing-masing daun terdiri dari 1000-1200 bundel serat yang mengandung 4% serat, 0.75% kutikula, 8% material kering, dan 87.25% air [18].

Normalnya, selembur daun sisal mempunyai berat sekitar 600 gram yang dapat menghasilkan 3% berat serat atau 1000 helai serat. Daun sisal terdiri dari 3 tipe, yaitu mekanis, *ribbon*, dan *xylem*. Harga serat sisal sangat murah dibandingkan serat sintesis, yaitu 0.36 US\$/kg. Harga tersebut hanya sepersembilan harga serat gelas yang mencapai 3.25 US\$/kg, serta seperlimaratus harga serat karbon yang mencapai 500 US\$/kg [20].

Umumnya kekuatan dan kekakuan serat tumbuhan tergantung pada kandungan *selulosa* dan sudut *spiral* yang terbentuk antara ikatan *mikrofibrilar* pada lapisan kedua dinding sel dengan sumbu serat. Selain itu struktur dan sifat serat alam tergantung pada asal dan umur serat [19]. Kekuatan tarik serat sisal tidak sama sepanjang serat. Bagian bawah serat umumnya mempunyai kekuatan tarik dan modulus yang lebih rendah dibanding bagian atas serat. Namun kekuatan tahan pecah bagian tersebut lebih tinggi. Bagian tengah serat lebih kuat dan kaku.

Tabel 2.3 menunjukkan sifat serat sisal hasil kajian beberapa peneliti. Perlu diketahui bahwa selain struktur dan sifat serat itu sendiri, kondisi percobaan seperti panjang sampel serat dan kecepatan pengujian mempengaruhi sifat serat alam.

Tabel 2.3 Sifat Serat Sisal [21]

Densitas (kg/m ³)	Moisture Content (%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus (GPa)	Maximum Strain (%)	Diameter (μm)
1450	11	604	9.4-15.8	-	50-200
1450	-	530-640	9.4-22	3-7	50-300
-	-	347	14	5	-
1030	-	500-600	16-21	3.6-5.1	-
1410	-	400-700	9-20	5-14	100-300
1400	-	450-700	7-13	4-9	-
-	-	530-630	17-22	3.64-5.12	100-300
1450	-	450-700	7-13	4-9	-

2.7 Perhitungan Komposit

2.7.1 Karakteristik Umum

Untuk memproduksi material komposit, perlu memperhitungkan volume fraksi masing-masing penyusunnya untuk mendapatkan sifat mekanik yang diperlukan. Perhitungan yang diperlukan dijabarkan dibawah ini

$$\text{Fraksi volume total} : V_r + V_m = 1 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Fraksi volume matriks} : V_m = v_m / v_{\text{total}} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Fraksi volume reinforce} : V_r = V_r / V_c \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Fraksi berat total} : W_r + W_m = 1 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Fraksi berat matriks} : W_m = w_m / w_c \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Fraksi berat reinforce} : W_r = w_h / w_c \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dari semua persamaan diatas, didapatkan :

$$V_c = V_m + V_r \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

$$w_c = w_m + w_r \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Kerapatan komposit dapat dihitung berdasarkan persamaan di bawah :

$$\rho_c = V_r \cdot \rho_r + v_m \cdot \rho_r \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

m = matriks

r = serat sisal

c = komposit

V = Volume

W = berat fraksi

v = volume (m³)

w = berat (kg)

2.7.2 Karakteristik Campuran

Umumnya perhitungan komposit berdasarkan atas fraksi volume, namun dalam proses produksinya, perhitungannya berdasarkan fraksi berat. Hal ini karena dengan menggunakan fraksi berat lebih memudahkan pengerjaannya. Berikut adalah konversi dari fraksi volume terhadap fraksi berat dan sebaliknya :

$$V_r = \rho_r / (W_r) - (W_m) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$W_r = (V_r \cdot \rho_r) / (V_r \cdot \rho_r) + (V_m \cdot \rho_m) \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

V_r = fraksi volume serat sisal

V_m = fraksi volume matriks

W_r = fraksi berat serat sisal

W_m = fraksi berat matriks

2.8 Proses *Curing*

Secara umum inti dari mekanisme *curing* material *termoset* adalah bagaimana proses *crosslink* dapat terjadi. Reaksi *crosslink* pada *epoxy* resin diharapkan terjadi saat campuran resin dan penguat telah dimasukkan dalam cetakan. Pada aplikasinya *curing* (*crosslinking*) dapat terjadi pada temperatur tinggi (100°C) seperti pada proses *pressure molding* atau pada temperatur ruang pada proses *hand lay up*. Pada proses *curing*, yang terjadi adalah molekul yang berukuran sedang saling berikatan membentuk ikatan molekul yang lebih besar [22]. Hasilnya material yang telah mengalami proses *curing* menjadi lebih padat dan meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan kekerasan. Karena

memiliki ikatan *crosslink* sehingga material ini tidak dapat dilelehkan kembali. Agar *curing* dapat terjadi maka *epoxy* resin harus ditambahkan *hardener*.

Proses *curing* dapat dilakukan dengan cara memanaskan benda uji tersebut pada temperatur tertentu, tetapi temperatur tersebut tidak boleh melebihi *glass transition temperature*, karena jika melebihi temperatur tersebut akan menyebabkan material tersebut menjadi lunak dan jika temperatur tersebut ditingkatkan lagi material akan menjadi cair. Pada waktu dilakukan *curing* pada temperatur tinggi material molekul molekul resin resin menerima lebih banyak energi dan meningkatkan pergerakan molekul-molekul tersebut. Sehingga molekul-molekul tersebut akan memiliki banyak waktu untuk membentuk susunan rantai *polymer* lebih teratur.

Proses *curing* yang sempurna dapat terjadi pada temperatur tinggi. Seiring dengan meningkatnya temperatur, maka aktivitas molekul-molekul dan polimerisasi juga meningkat sehingga *dekristalinitasnya* akan meningkat. Dengan meningkatnya *dekristalinitas* maka fase *rubber* akan berubah menjadi fase *glass* yang lebih kuat dan rapuh. Polimerisasi merupakan suatu jenis reaksi kimia dimana monomer-monomer bereaksi untuk membentuk rantai yang besar.

Selain pengaruh panas hal yang mempengaruhi proses pembentukan *crystalinity* yaitu bentuk rantai polimer, pengulangan susunan *mers* pada rantai polimer berpengaruh pada proses pembentukan *crystalinity* pada polimer.

2.9 Pengujian Spesimen dengan Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mencari tegangan dan regangan dari material komposit. Dari pengujian ini dapat diketahui beberapa sifat mekanik material yang dibutuhkan dalam melakukan desain. Didapatkan hasil dari pengujian berupa grafik beban dalam skala perpanjangan. Dari grafik tersebut maka

tegangan dari material komposit dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

σ = *Tensile strength* (Pa)

P = Beban terbesar sebelum gagal (N)

A = Luas penampang melintang rata-rata (m²)

Selanjutnya dapat pula diperoleh regangan yang terjadi pada material komposit selama pengujian dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

ε = *Strain strength*

l_0 = Panjang awal spesimen (mm)

l_i = Panjang akhir spesimen (mm)

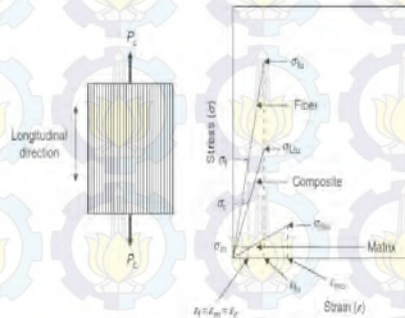
Pada pengujian tarik untuk komposit terdapat berbagai kemungkinan gagal yang terjadi, hal tersebut dapat disebabkan oleh komponen penyusunnya serta metode manufaktur yang digunakan dalam proses pembuatan komposit tersebut. Jenis pola patahan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.12 Penampakan Beberapa Mode Kegagalan pada Uji Tarik Komposit[23]

Pada spesimen tarik, umumnya serat yang putus terjadi secara merambat dalam proses kegagalan pada komposit. Tahapan awal adalah patah pada salah satu serat penguat sehingga berdampak memberikan beban kepada matriks yang kemudian diteruskan ke penguat yang berada didekatnya. Dengan adanya peningkatan tegangan tersebut memungkinkan terjadinya serat penguat patah secara berurutan/ merambat. Hal tersebut terjadi secara berkelanjutan hingga spesimen komposit tersebut patah.

Diagram tegangan dan regangan untuk hasil uji tarik pada arah pembebanan parallel pada arah serat ditunjukkan oleh kurva berikut:



Gambar 2.13 Diagram Tegangan dan Regangan untuk Arah Pembebanan Parallel Arah Serat [23]

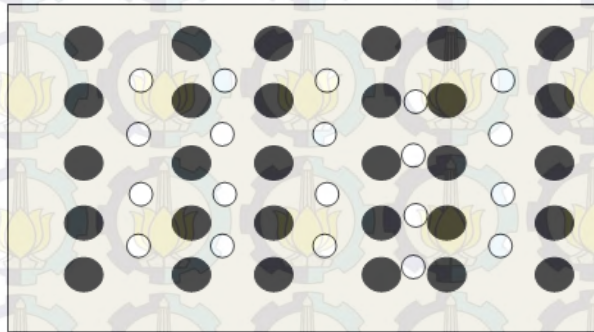
Pada gambar 2.13 menunjukkan bahwa harga modulus longitudinal komposit berada diantara harga modulus serat penguat dan harga modulus matriks. Harga modulus ini meningkat dengan bertambahnya volume fraksi serat penguat dan secara umum $E_f > E_m$, dimana modulus serat lebih besar dibandingkan modulus matriks sehingga nilai modulus komposit lebih banyak dipengaruhi nilai modulus serat penguat.

2.10 Rules of Mixture

Rules of mixture merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung kekuatan pada komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap penyusun dengan menggunakan fraksi volume tiap penyusun tersebut. *Rules of mixture* bisa digunakan untuk perhitungan kekuatan tekan karena pada saat pengujian tekan spesimen uji memiliki sifat *isotropik* yang memiliki gaya keseluruhan arah sama besar. ROM menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot V_m + \sigma_r \cdot V_r \dots\dots\dots(2.14)$$

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan penguat (*reinforcement*) dan bahan pengikat (*matrix*). Bahan penguat memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan *matrix* sehingga komposit memiliki sifat gabungan dari material penyusunnya.



Gambar 2.14 Molekul Penyusun Komposit [24].

Terlihat pada gambar 2.14 penyusun komposit berupa *matrix*, penguat, dan juga *void*. Dengan adanya ketiga penyusun tersebut dengan kekuatan masing-masing penyusun maka bisa diprediksi secara teoritis sesuai *rules of mixture* kekuatan pada kompositnya.

BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Diagram Alir Percobaan



Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian

3.2 Material

Material komposit akan dibuat dengan mencampurkan Serat Sisal dan *epoxy* resin sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Kemudian dituang ke dalam cetakan. Perbandingan fraksi volume *Epoxy* Resin : Hardener adalah 75% : 25%.

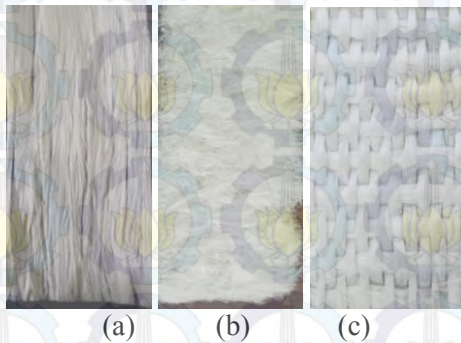
Berikut bahan – bahan yang digunakan untuk membuat komposit:

1. *epoxy resin adhesives* dan *hardener*



Gambar 3.2 *Epoxy* Resin dan *Hardener*

2. Serat Sisal



Gambar 3.3 Serat Sisal (a)*Continue* , (b)*Chopped*,
(c)*Woven*

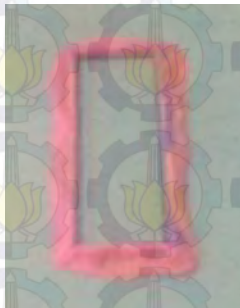
3.3 Peralatan yang Digunakan

1. Mesin Uji Tarik – Shimadzu



Gambar 3.4 Mesin Uji Tarik

2. Cetakan plastisin komposit



Gambar 3.5 Cetakan Platinin

3. *Scanning Electron Microscope* Zeiss EVO MA 10



Gambar 3.6 Alat uji SEM

4. Alat Bantu : gerinda, kapi, soket, pengaduk, pipet, plastisin, dan wax
5. Alat Ukur : timbangan digital, jangka sorong, gelas ukur
6. Alat Keselamatan : sarung tangan dan masker

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian pada pembuatan material komposit campuran antara *Epoxy* Resin dengan Serat Sisal adalah variasi fraksi volume serat sisal dengan *epoxy* dan ukuran serat sisal. Masing-masing dari variasi struktur serat dan fraksi volume ada pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Variasi Fraksi Volume dan Struktur Serat Sisal - Epoxy Resin

Struktur Serat	Fraksi Volume (%)	Kode Spesimen	Jumlah	Volume Resin (ml)	Volume Hardener (ml)	Volume Serat Sisal (gr)
Chopped	40	C401,C402,C403	3	97.2	32.4	8.64
	50	C501,C502,C503	3	81	27	10.8
	60	C601,C602,C603	3	64.8	21.6	12.96
Woven	40	W401,W402,W403	3	97.2	32.4	8.64
	50	W501,W502,W503	3	81	27	10.8
	60	W601,W602,W603	3	64.8	21.6	12.96
Continue	40	T401,T402,T403	3	97.2	32.4	8.64
	50	T501,T502,T503	3	81	27	10.8
	60	T601,T602,T603	3	64.8	21.6	12.96

3.5 Langkah – langkah Percobaan

3.5.1 Pembentukan Komposit

Penelitian ini menggunakan matriks *epoxy* dengan penguat serat sisal. Proses pembuatannya adalah sebagai berikut :

1. Sebelum proses pencetakan, cetakan kaca dibersihkan dan dilapisi dengan *wax* secara merata, kemudian dilapisi dengan *pva*. Hal ini bertujuan agar komposit mudah dilepas dari cetakan ketika sudah mengeras. Komposit dibuat sesuai dengan variasi seperti pada tabel 3.1. cetakan tersebut dibatasi dengan *silicon* tahan panas agar nantinya komposit tetap berada pada cetakan.
2. *Epoxy* resin dicampur dengan hardener lalu diaduk merata, serat sisal yang telah disesuaikan dengan perbandingan volume sesuai dengan variasi pada table 3.1. kemudian diaduk hingga merata selama kurang lebih 15 menit agar campuran merata dan mengurangi porositas pada hasil komposit tersebut. Campuran tersebut dituang sedikit dan diratakan ke seluruh bagian

cetakan, setelah itu serat sisal yang telah dihitung sesuai fraksi volume diletakkan dalam cetakan, kemudian campuran resin dituang kembali hingga habis secara merata.

3. Dibiarkan dalam cetakan untuk menjalani proses *curing* selama 24 jam pada temperature kamar.
4. Komposit dilepas dari cetakan

3.5.2 Pengamatan Bentuk Fisik Komposit

Setelah proses *curing*, komposit diamati apakah terdapat cacat pada komposit. Apabila terdapat cacat pada komposit seperti retak atau porositas pada permukaan, maka komposit tersebut tidak dapat digunakan dan proses pembentukannya harus diulang dari awal.

3.5.3 Pembentukan Spesimen

Setelah komposit dinyatakan layak, maka komposit dibentuk menjadi spesimen. Spesimen dibentuk dengan menggunakan alat bantu gerinda tangan sesuai dengan standart pengujian ASTM D3039. Proses pembentukan harus dilakukan dengan hati-hati, agar komposit tidak pecah selama proses pembentukan menjadi spesimen.

3.6 Prosedur perhitungan massa jenis komposit

Sebelum dilakukakan pengujian tarik, spesimen uji akan dihitung massa jenisnya. Untuk perhitungan berat akan menggunakan timbangan digital dan untuk perhitungan volumenya akan menggunakan teori dasar archimedes yaitu dengan memanfaatkan bertambahnya volume air ketika ditambahkan benda lain kedalam volume air tersebut.

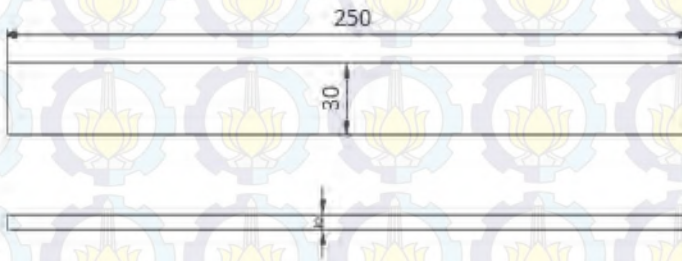
Setelah spesimen ditimbang dan didapatkan beratnya spesimen akan dimasukkan kedalam gelas ukur dengan volume

air 30 ml didalamnya, maka akan didapatkan peningkatan volume air pada gelas ukur. Peningkatan tersebut akan dikurangi volume air awal dan didapatkan besar volume spesimen tersebut.

3.7 Pelaksanaan Pengujian Tarik

3.7.1 Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik pada penelitian ini dibentuk berdasarkan standar uji tarik komposit yaitu ASTM D3039-105, "*Standar Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*". Bentuk serta dimensi dari spesimen uji tarik adalah seperti gambar 3.4. Hasil dari pengujian adalah berupa grafik $P-\Delta L$ yang diperoleh dari mesin uji tarik serta kekuatan tarik maksimum spesimen. Grafik tegangan-regangan, perpanjangan dihitung secara manual.



Gambar 3.7 Spesimen Uji Tarik (mm).

3.7.2 Prosedur Uji Tarik

Langkah-langkah pengujian tarik adalah sebagai berikut:

1. Masing-masing spesimen diberi label sesuai variabel yang digunakan.
2. Pencatatan dimensi awal dari spesimen, yaitu:
 - Panjang awal (l_0).
 - Lebar (b).
 - Tebal (d).

3. Memasang spesimen pada penjepit atau *chuck*.
4. Pembebanan pada spesimen hingga patah.
5. Setelah patah, spesimen dilepas dari penjepit.
6. Pencatatan data yang didapatkan dari mesin berupa P- Δ L serta kekuatan tarik.

3.8 Rancangan Penelitian uji tarik

Tabel 3.2 Data Pengujian Tarik Berdasarkan Variasi Fraksi Volume Serat dan Struktur Serat Sisal

Struktur Serat	Fraksi Volume	Kode Spesimen	L0 (mm)	A0 (mm) ²	Δ L (mm)	P (N)	σ UTS (Mpa)	σ UTS Rata2 (Mpa)	E (mm/mm)	ϵ Rata2 (mm/mm)
Chopped	40	C401								
		C402								
		C403								
	50	C501								
		C502								
		C503								
	60	C601								
		C602								
		C603								
woven	40	W401								
		W402								
		W403								
	50	W501								
		W502								
		W503								
	60	W601								
		W602								
		W603								
continue	40	T401								
		T402								
		T403								
	50	T501								
		T502								
		T503								
	60	T601								
		T602								
		T603								

BAB IV DATA HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Tarik

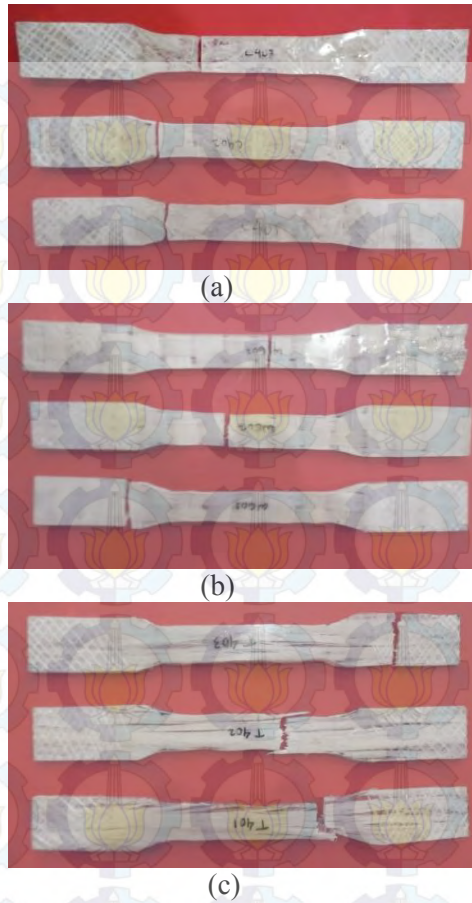
Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik Komposit *Epoxy* – Serat Sisal

Struktur	Kode	P (Newton)	ΔL (mm)	σ (Mpa)	σ rata2 (Mpa)	ϵ (%)	ϵ Rata2 (%)	Metode Kegagalan
chopped	C401	1750	2.816	17.05653	23.52888	0.02842	0.02463	AAT
	C402	2203.13	2.184	21.47295		0.02184		LGM
	C403	2625	2.179	25.5848		0.02742		LGM
	C501	3656.25	3.28	35.63596	30.55961	0.0328	0.02966	AGM
	C502	2953.13	2.794	28.78289		0.02806		LGM
	C503	2796.88	2.798	27.25999		0.02812		AGM
	C601	4171.88	4.904	40.66155	40.81384	0.04904	0.048307	LGM
	C602	4109.38	4.786	40.05239		0.04786		LGM
	C603	4281.25	4.802	41.72758		0.04802		LGM
woven	W401	3296.88	5.812	33.66907	35.74347	0.05483	0.05464	LGM
	W402	3156.25	5.466	32.23295		0.05466		AAT
	W403	3703.13	5.772	37.81786		0.05445		LGM
	W501	4218.75	5.706	43.08364	45.10485	0.05706	0.055613	LGM
	W502	4625	6.014	47.23243		0.06014		LGM
	W503	4406.25	4.964	44.99847		0.04964		LGM
	W601	4875	5.224	49.78554	49.67916	0.05224	0.060333	LGM
	W602	5171.88	5.204	52.81735		0.05204		LGM
	W603	4546.87	7.672	46.43459		0.07672		AGM
continue	T401	3171.88	4.287	30.91496	39.29096	0.04308	0.04117	AAT
	T402	3765.63	3.856	36.702		0.03856		AGM
	T403	4296.88	4.378	41.87992		0.04378		AGM
	T501	5718.75	5.04	58.68996	50.4584	0.0504	0.046993	AGM
	T502	4843.75	4.802	49.71008		0.04802		AGM
	T503	4187.5	4.256	42.97516		0.04256		AGM
	T601	5203.13	4.736	62.31725	61.15984	0.05147	0.048857	AGM
	T602	5031.25	4.218	58.84503		0.04584		AGM
	T603	5328.13	4.532	62.31725		0.04926		AGM
100% epoxy	00	4218.75	5.01	34.73479	34.73479	0.0501	0.0401	LGM

Keterangan :

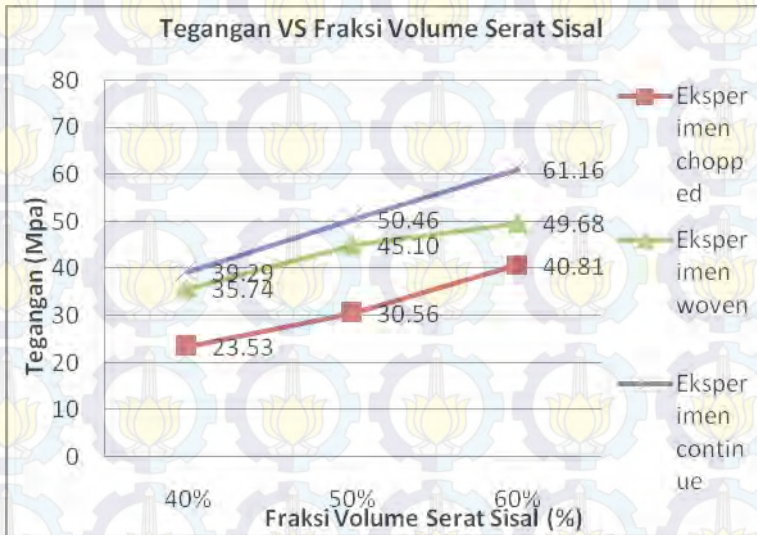
- Huruf pertama menunjukkan tipe struktur serat
 1. C = Chopped
 2. W = Woven
 3. T = Continue
- 2 angka pertama menunjukkan persentase fraksi volume serat sisal
 1. 40 = 40%
 2. 50 = 50%
 3. 60 = 60%
- 1 angka terakhir menunjukkan sample specimen

Pada tabel 4.1 kolom metode kegagalan terdapat kode AAT, AGM dan LGM. Penjabaran dari pengkodean secara lengkap terdapat pada gambar 2.12. Huruf pertama mengkodekan *failure type*, kode L berarti tipe kegagalannya adalah *lateral* atau patah lurus secara *horizontal*, Kode A berarti tipe kegagalannya adalah *angle* atau patah dengan sudut tertentu. Huruf kedua mengkodekan *failure area*, kode A berarti area kegagalannya berada pada *at grip* atau pada daerah dekat penjepit dan kode G area kegagalannya berada di *gage length* atau daerah tengah. Dan huruf ketiga mengkodekan *failure location*, kode M berarti lokasi kegagalannya berada pada *middle* atau pada bagian tengah, sedangkan kode T berarti lokasi kegagalannya berada pada *top* atau pada bagian atas. Keterangan metode kegagalan yang berwarna merah adalah spesimen yang patah pada bagian grip dan spesimen tersebut dinyatakan gagal karena tidak memenuhi syarat pengujian sehingga tidak dapat diperhitungkan untuk menghitung rata-rata nilai tegangan dan regangannya.



Gambar 4.1 Spesimen yang Telah Dilakukan Uji Tarik. (a) Tipe *Chopped* , (b) Tipe *Woven* , (c) Tipe *Continue*

4.1.1 Pengaruh Penambahan Fraksi Volume Serat Sisal dan Struktur Serat Sisal Terhadap Tegangan Tarik Komposit Epoxy – Serat Sisal



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan Tarik Terhadap Struktur dan Fraksi Volume Serat Sisal

Dari gambar 4.2 Didapatkan adanya peningkatan tegangan tarik pada setiap penambahan fraksi volume serat sisal di satu tipe struktur. Pada tipe struktur *chopped*, nilai tegangan tarik terus meningkat dari fraksi volume 40% ke 50% hingga 60%. Begitu pula hasilnya pada tipe struktur *woven* dan *continue*. Pada Struktur *Chopped*, nilai tegangan tarik terkecil yaitu pada fraksi volume 40% dengan nilai rata-rata 23.53 MPa dan nilai tegangan tarik tertinggi yaitu pada fraksi volume 60% dengan nilai rata-rata 40.81 MPa. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa pada fraksi volume 40% dan 50% serat sisal nilai tegangannya masih lebih rendah dari nilai tegangan tarik pada 0% serat sisal

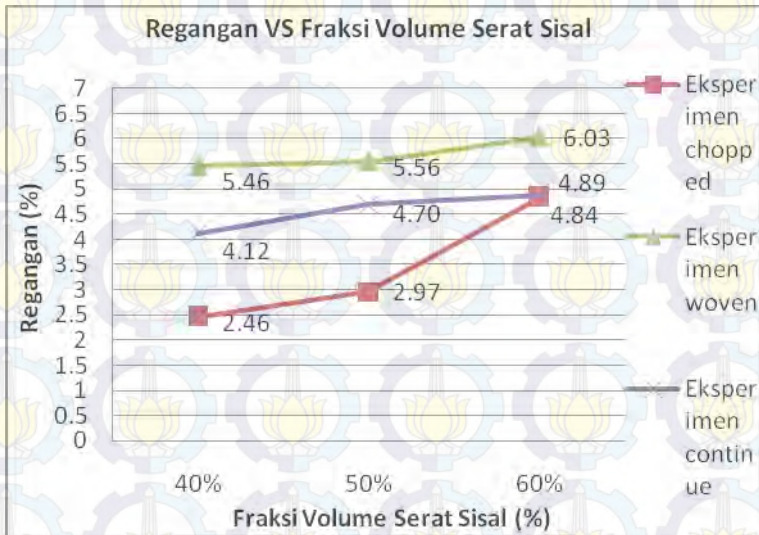
(tanpa serat), tetapi pada fraksi volume 60% nilai tegangannya lebih tinggi dari tegangan tarik pada 0% serat sisal (tanpa serat).

Pada Struktur *Woven*, nilai tegangan tarik terkecil yaitu pada fraksi volume 40% dengan nilai rata-rata 35.74 MPa dan nilai tegangan tarik tertinggi yaitu pada fraksi volume 60% dengan nilai rata-rata 49.68 MPa. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa pada fraksi volume 40%, 50%, dan 60% serat sisal nilai tegangannya lebih tinggi dari nilai tegangan tarik pada 0% serat sisal (tanpa serat).

Pada Struktur *Continue*, nilai tegangan tarik terkecil yaitu pada fraksi volume 40% dengan nilai rata-rata 39.29 MPa dan nilai tegangan tarik tertinggi yaitu pada fraksi volume 60% dengan nilai rata-rata 61.16 MPa. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa pada fraksi volume 40%, 50%, dan 60% serat sisal nilai tegangannya lebih tinggi dari nilai tegangan tarik pada 0% serat sisal (tanpa serat).

Hal ini mengindikasikan bahwa material komposit *epoxy* –serat sisal dengan penambahan fraksi volume 60% Serat didapatkan peningkatan tegangan tarik tertinggi pada semua tipe struktur. Dan struktur yang paling baik digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan tarik optimum yaitu struktur *continue*, kemudian struktur *woven*, dan yang terendah adalah struktur *chopped*.

4.1.2 Pengaruh Penambahan Fraksi Volume Serat Sisal dan Struktur Serat Sisal Terhadap Regangan Tarik Komposit Epoxy – Serat Sisal



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Regangan Tarik Terhadap Struktur dan Fraksi Volume Serat Sisal

Dari gambar 4.3 Didapatkan hasil nilai regangan yang meningkat pada setiap penambahan fraksi volume serat sisal di satu tipe struktur. Pada tipe struktur *chopped*, nilai regangan tarik terus meningkat dari fraksi volume 40% ke 50% hingga 60 %. Begitu pula hasilnya pada tipe struktur *woven* dan *continue*. Pada Struktur *Chopped*, nilai regangan tarik terkecil yaitu pada fraksi volume 40% dengan nilai rata-rata 2.46% dan nilai regangan tarik tertinggi yaitu pada fraksi volume 60% dengan nilai rata-rata 4.83%. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa pada fraksi volume 40% dan 50% serat sisal nilai regangannya masih lebih rendah dari nilai regangan tarik pada 0% serat sisal (tanpa serat), tetapi

pada fraksi volume 60% nilai regangannya lebih tinggi dari tegangan tarik pada 0% serat sisal (tanpa serat).

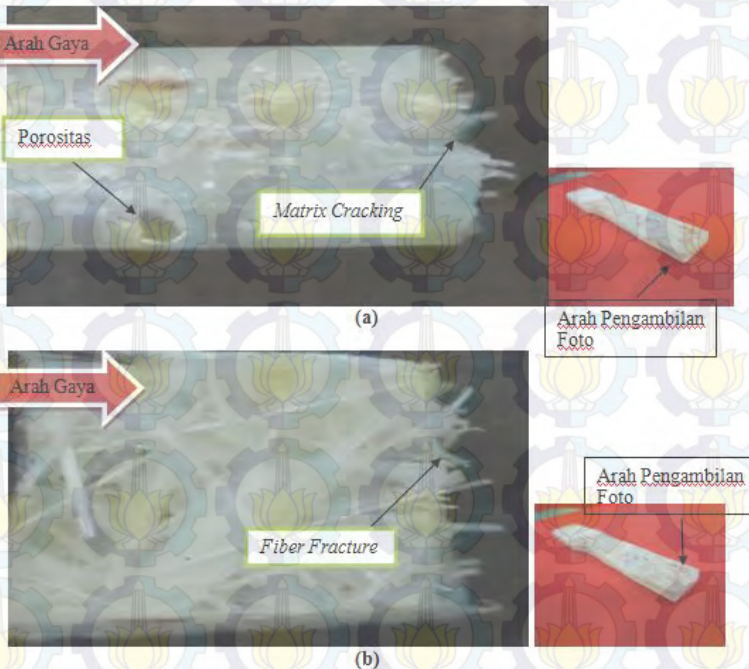
Pada Struktur *Woven*, nilai regangan tarik terkecil yaitu pada fraksi volume 40% dengan nilai rata-rata 5.46% dan nilai regangan tarik tertinggi yaitu pada fraksi volume 60% dengan nilai rata-rata 6.03%. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa pada fraksi volume 40%, 50%, dan 60% serat sisal nilai regangannya lebih tinggi dari nilai regangan tarik pada 0% serat sisal (tanpa serat).

Pada Struktur *Continue*, nilai regangan tarik terkecil yaitu pada fraksi volume 40% dengan nilai rata-rata 4.12% dan nilai regangan tarik tertinggi yaitu pada fraksi volume 60% dengan nilai rata-rata 4.89%. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa pada fraksi volume 40%, 50%, dan 60% serat sisal nilai regangannya lebih tinggi dari nilai tegangan tarik pada 0% serat sisal (tanpa serat).

Hal ini mengindikasikan bahwa material komposit *epoxy* –serat sisal dengan penambahan fraksi volume 60% Serat didapatkan peningkatan regangan tarik tertinggi pada semua tipe struktur. Dan struktur yang paling baik digunakan untuk mendapatkan nilai regangan tarik optimum yaitu struktur *woven*, kemudian struktur *continue*, dan yang terendah adalah struktur *chopped*.

4.2 Hasil Pengamatan Foto Makro Patahan Spesimen Uji Tarik

4.2.1 Spesimen dengan Struktur Serat *Chopped*

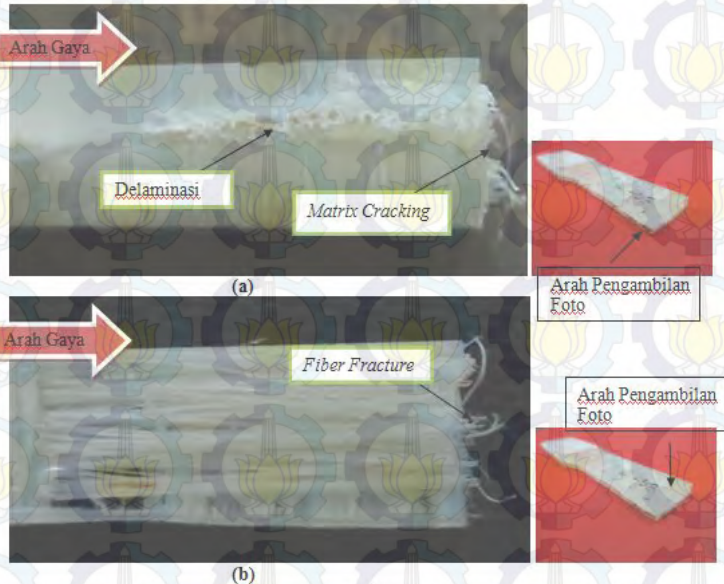


Gambar 4.4 Foto Makro Patahan Spesimen tipe *Chopped* dengan Fraksi Volume 60% (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas

Dari gambar 4.4, pada komposit *epoxy* - serat sisal tipe struktur *Chopped* dengan fraksi volume 60% terlihat mekanisme kegagalan berupa *matrix cracking*, *fiber fracture*, dan porositas. *Matrix cracking* berada pada sekitar bagian tengah spesimen dan disebabkan karena retakan dari matriks akibat tegangan yang diterima matriks telah melebihi batas tegangan dari matriks tersebut. *Fiber fracture* terjadi pada bagian tengah sisi tarik dari

spesimen, hal itu terjadi karena penguat serat sisal tercabut akibat tidak kuat dalam menerima beban tarik akibat pengujian tarik.

4.2.2 Spesimen dengan Struktur Serat *Woven*

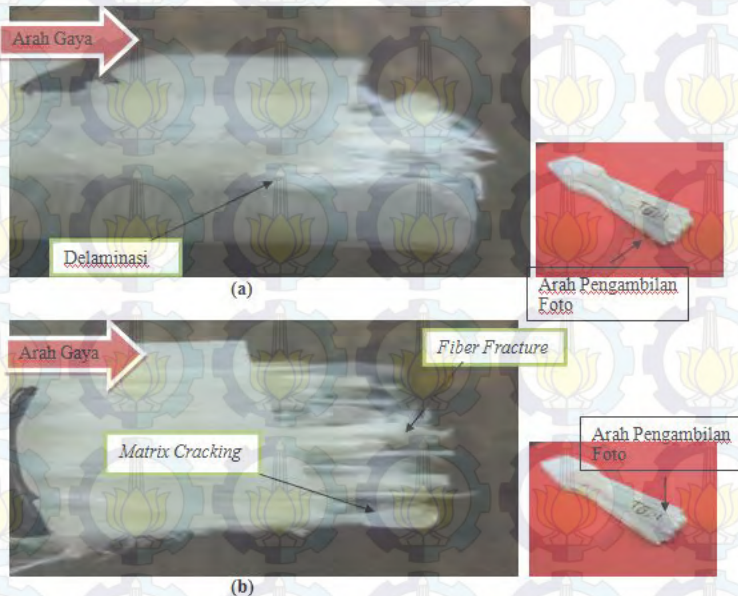


Gambar 4.5 Foto Makro Patahan Spesimen tipe *Woven* dengan Fraksi Volume 60%(a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas

Dari gambar 4.5, pada komposit *epoxy* - serat sisal tipe struktur *Woven* dengan fraksi volume 60% terlihat mekanisme kegagalan berupa *matrix cracking*, *fiber fracture*, dan delaminasi. *Matrix cracking* berada pada sekitar bagian tengah spesimen dan disebabkan karena retakan dari matriks akibat tegangan yang diterima matriks telah melebihi batas tegangan dari matriks tersebut. Delaminasi pada lapisan atas yang disebabkan karena lapisan antara resin *epoxy* dan serat sisal tidak kuat menerima beban. *Fiber fracture* terjadi pada bagian tengah sisi tarik dari

spesimen, hal itu terjadi karena penguat serat sisal tercabut akibat tidak kuat dalam menerima beban tarik akibat pengujian tarik.

4.2.3 Spesimen dengan Struktur Serat *Continue*



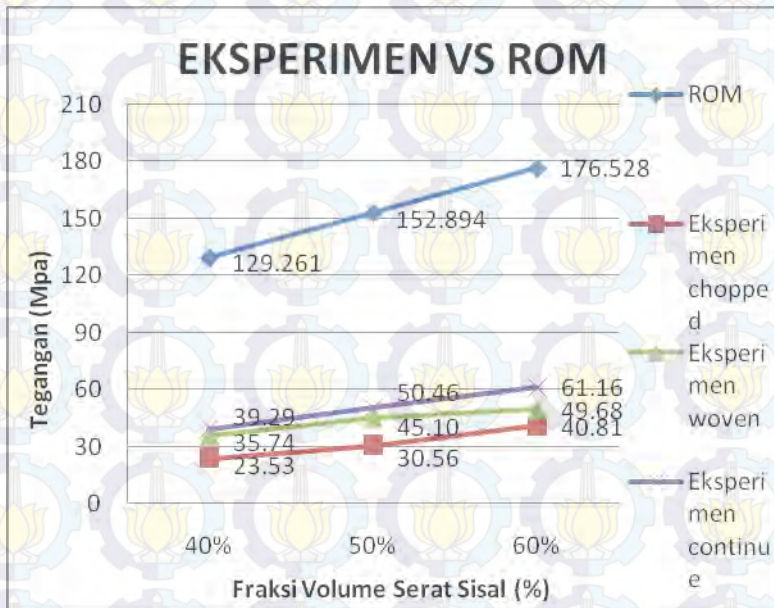
Gambar 4.6 Foto Makro Patahan Spesimen tipe *Continue* dengan Fraksi Volume 60% (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas

Dari gambar 4.6 pada komposit *epoxy* - serat sisal tipe struktur *Woven* dengan fraksi volume 60% terlihat mekanisme kegagalan berupa *matrix cracking*, *fiber fracture*, dan delaminasi. *Matrix cracking* berada pada sekitar bagian tengah spesimen dan disebabkan karena retakan dari matriks akibat regangan yang diterima matriks telah melebihi batas regangan dari matriks tersebut. Delaminasi pada lapisan atas yang disebabkan karena lapisan antara resin *epoxy* dan serat sisal tidak kuat menerima beban. *Fiber fracture* terjadi pada bagian tengah sisi tarik dari

spesimen, hal itu terjadi karena penguat serat sisal tercabut akibat tidak kuat dalam menerima beban tarik akibat pengujian tarik.

4.3 Pembahasan Pengaruh Variasi Fraksi Volume dan Tipe Struktur Serat Sisal Terhadap Tegangan-Regangan Tarik Komposit

Dengan menggunakan persamaan *Rule Of Mixture* (ROM) pada komposit maka secara teoritis tegangan tarik komposit dengan penambahan Serat Sisal dapat dihitung. Hasil dari perhitungan secara teori dan eksperimen dijelaskan pada grafik dibawah ini :



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan antara Tegangan Tarik Hasil Pengujian dengan Tegangan Tarik Teoritis Hasil Perhitungan

Berdasarkan gambar grafik 4.7, terjadi perbedaan hasil antara kekuatan tarik secara teoritis dengan kekuatan tarik pada saat pengujian. Serat Sisal sendiri memiliki kekuatan tarik sebesar 271.058 MPa. *Epoxy* resin memiliki kekuatan tarik 34.73 MPa, sehingga dengan penambahan fraksi volume serat sisal pada *epoxy* akan semakin meningkatkan kekuatan tariknya. Pada hasil perhitungan teoritis kekuatan tarik komposit naik seiring dengan penambahan fraksi volume Serat Sisal. Pada hasil pengujian yang sebenarnya pun juga menunjukkan kekuatan tarik yang semakin naik seiring dengan penambahan fraksi volume serat sisal namun nilai tersebut jauh dibawah nilai perhitungan teoritis. Hal itu dikarenakan pada perhitungan teoritis, dianggap kondisi ideal yang terjadi yaitu adanya ikatan yang kuat antara serat sisal dan *epoxy*. Pada hasil perhitungan teoritis nilai kekuatan tertinggi yaitu pada fraksi volume serat sisal 60% sebesar 176.528 MPa sedangkan pada hasil pengujian nilai kekuatan tertinggi yaitu pada komposit tipe struktur *continue* dengan fraksi volume serat sisal 60% sebesar 61.1598 MPa. Nilai kekuatan tarik pengujian dibandingkan dengan hasil ROM terjadi penyimpangan yang disebabkan karena pada praktiknya tidak dijumpai asumsi seperti yang digunakan pada ROM sehingga tidak terjadi kondisi ideal. Seperti : *void* (dapat terjadi pada pembuatan komposit), distribusi penyebaran serat sisal tidak merata, tidak kuatnya ikatan antara *epoxy* dan serat sisal.

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pada *epoxy* tanpa penambahan serat sisal didapatkan nilai tegangan sebesar 34.73 MPa. Dengan penambahan fraksi volume serat sisal 40% nilai optimum yang didapatkan yaitu pada tipe struktur *continue* dengan nilai tegangan rata-rata sebesar 40.81 MPa. Pada penambahan fraksi volume serat sisal 50% nilai optimum yang didapatkan yaitu pada tipe struktur *continue* dengan nilai tegangan rata-rata sebesar 49.68 MPa dan penambahan fraksi volume serat sisal 60% nilai optimum yang didapatkan yaitu pada tipe struktur *continue* dengan nilai tegangan rata-rata sebesar 61.16 MPa.

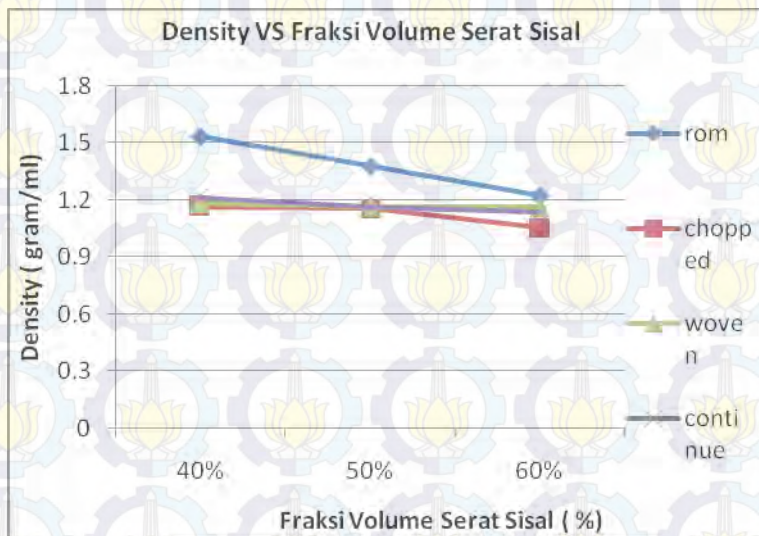
Dari tabel 4.1 dapat dilihat pada tipe struktur *chopped*, *woven* dan *continue* menunjukkan kekuatan tegangan tarik yang semakin meningkat seiring penambahan fraksi volume serat sisal. Hal tersebut sesuai dengan teori *Rules Of Mixture* yaitu kekuatan komposit meningkat seiring dengan penambahan kandungan serat. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa serat sisal yang digunakan sebagai bahan penguat komposit mampu menerima beban yang diterima dari matriks sehingga serat mampu menahan beban sampai beban maksimum. Serat menerima beban sampai beban maksimum juga terlihat pada pengujian tarik yang dilakukan, didapatkan hasil pada semua pola patahan yaitu terlihatnya *matrix cracking* dan serat yang terlepas sehingga menunjukkan bahwa serat terlepas setelah matriks rusak.

Dari gambar 4.2 didapatkan hasil kekuatan tarik yang paling tinggi ke rendah yaitu tipe struktur *continue*, *woven*, *chopped*. Tipe struktur *chopped* menunjukkan kekuatan tarik yang paling rendah karena arahnya yang tidak teratur sehingga menyebabkan penyebaran gaya yang bekerja pada komposit tidak optimum dan saling berlawanan/ menghilangkan. Tipe struktur *woven* menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan struktur *chopped* namun masih rendah bila dibandingkan dengan struktur *continue*. Tipe struktur *woven* lebih kuat dari *chopped* karena struktur *woven* tersusun dari serat yang lurus sehingga serat mampu menerima beban lebih optimal karena terdapat serat yang searah dengan gaya yang diberikan, namun bentuknya yang berupa anyaman dua arah membuat daya ikat antara matriks dan serat semakin rendah dan sebagian serat dengan arah longitudinal membuat kekuatannya tidak optimum. Tipe struktur *continue* menghasilkan kekuatan tarik paling kuat, hal ini karena serat lurus akan membuat beban yang disalurkan dari matriks lebih optimal diterima oleh serat. Distribusi serat yang merata serta daya ikat yang baik juga akan menambah kekuatan tegangan tariknya.

Dari gambar 4.3 dapat dilihat pengaruh fraksi volume dan struktur serat terhadap nilai regangan tariknya. Sama halnya

dengan tegangan, nilai regangan tarik pun semakin meningkat seiring bertambahnya fraksi volume serat sisal. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besarnya fraksi volume serat sisal maka komposit tersebut akan bersifat semakin ulet/*ductile*.

4.4 Pembahasan Pengaruh Variasi Fraksi Volume dan Tipe Struktur Serat Sisal Terhadap *Density* Komposit



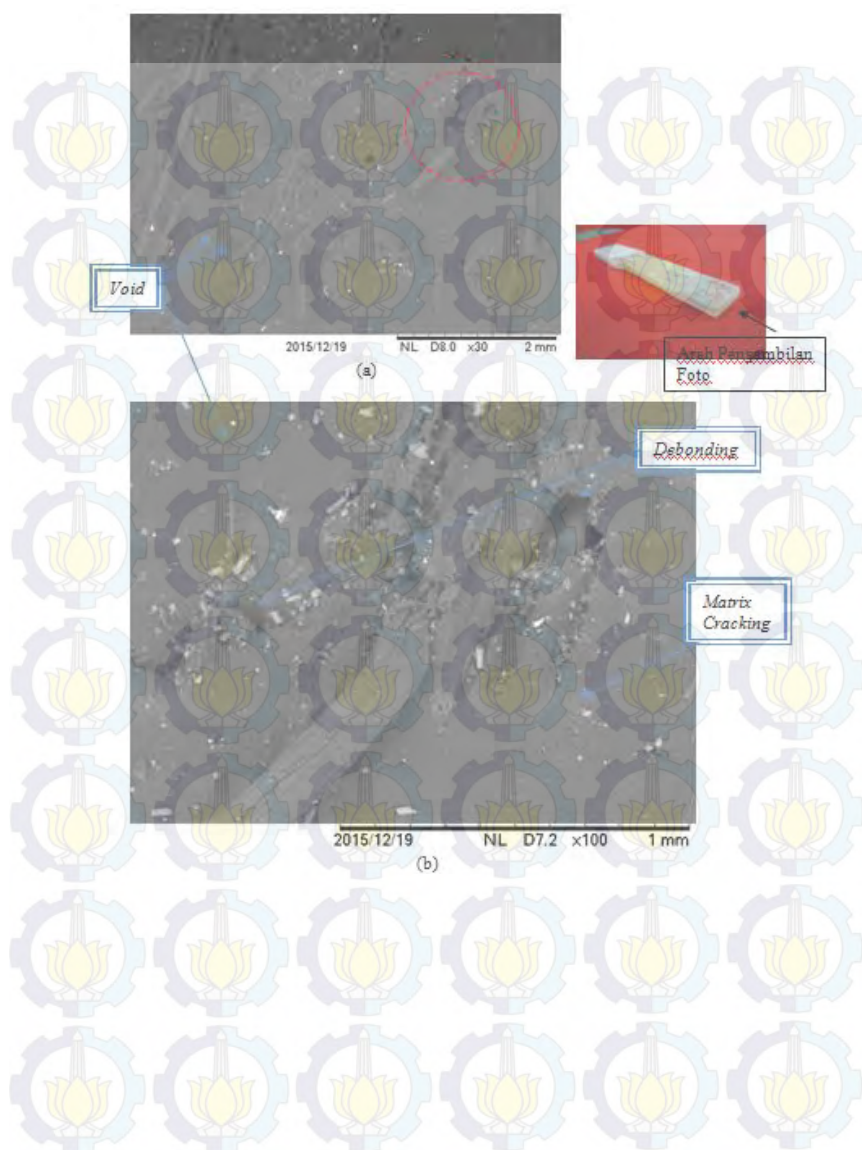
Gambar 4.8 Grafik density komposit dengan penambahan fraksi volume serat sisal dan stuktur serat

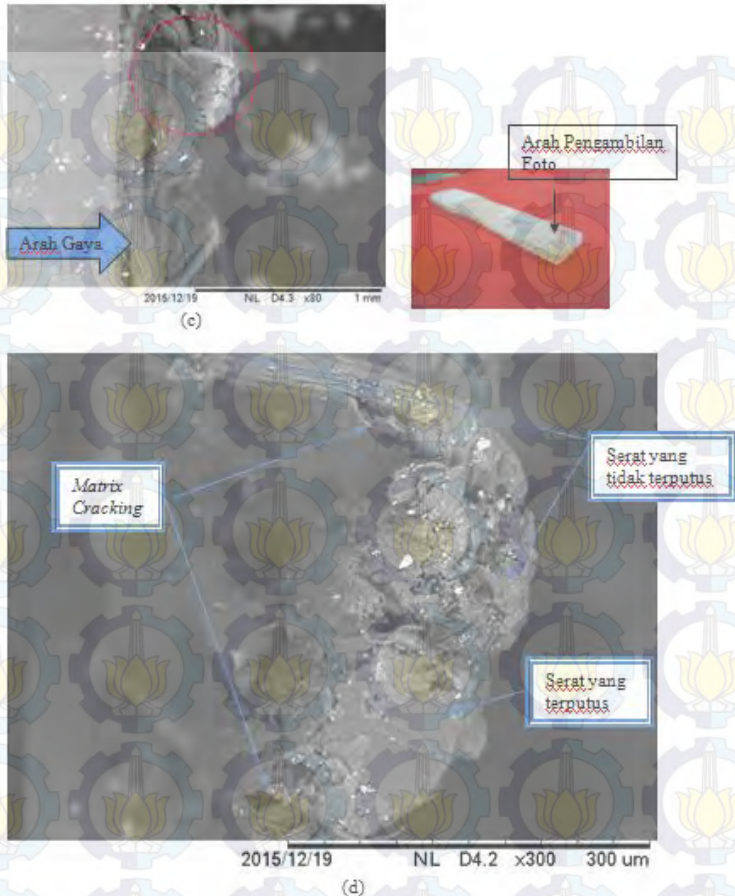
Gambar 4.8 merupakan data *density* komposit terhadap penambahan fraksi volume serat sisal pada *epoxy*. Grafik pada gambar tersebut menunjukkan bahwa tren grafik yang terus menurun seiring dengan penambahan serat sisal. Penambahan serat sisal sebanyak 60% memiliki density yang paling rendah yaitu 1.053 gram/ml sedangkan *epoxy* murni memiliki density 1.221 gram/ml.

Adanya perbedaan nilai density dari teori hasil perhitungan dengan hasil eksperimen yang disebabkan adanya perbedaan volume ketika perhitungan dengan volume setelah komposit terbentuk. Hal itu terjadi karena adanya campuran epoxy-hardener yang masih tertinggal pada gelas pencampur. Dan adanya proses finishing komposit sebelum dilakukan uji tarik seperti pemotongan dan penghalusan specimen yang membuat volume komposit juga berubah.

4.5 Pengamatan Hasil Scanning Electron Microscopy (SEM) Pada Patahan Komposit

Pada pengamatan pola patahan komposit pengujian tarik, didapatkan mekanisme kegagalan komposit yang hampir sama pada setiap spesimen yaitu adanya *debonding* yang terjadi akibat tidak kuatnya ikatan *interface* antara serat sisal dan matriks *epoxy* sehingga menyebabkan Serat sisal terlepas dari matriks, *matrix cracking* yang terjadi akibat ketidak mampuan dari matriks untuk menahan beban yang terjadi sehingga timbul retakan dan adanya serat sisal yang terputus akibat ketidak mampuan menahan pembebanan.





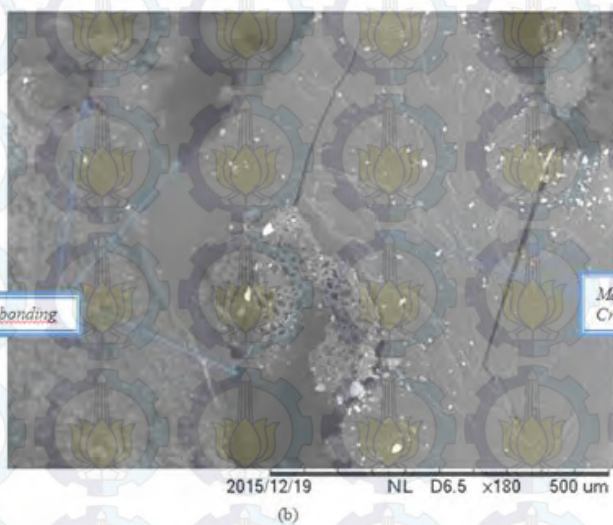
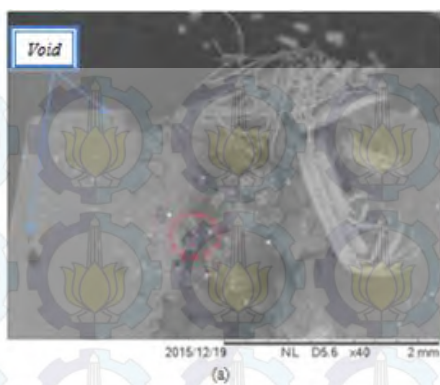
Gambar 4.9 Foto SEM Komposit Tipe Struktur *Chopped* dengan Fraksi Volume 60% Serat Sisal

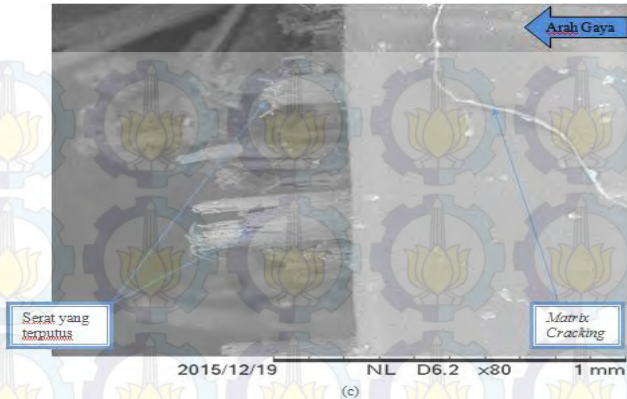
a) *Tampak Depan* (perbesaran 30x), (b) *Tampak Depan* (perbesaran 100x), (c) *Tampak Samping* (perbesaran 80x), dan (d) *Tampak Samping* (perbesaran 300x)

Pada gambar 4.9 (a) hasil SEM komposit dengan arah gaya keluar dari bidang gambar dapat dilihat masih terdapat beberapa *void* yang berupa titik-titik hitam pada perbesaran 30x.

Void terjadi akibat terperangkapnya udara pada proses pembuatan komposit, *void* dapat terjadi saat proses pengadukan dan penuangan pada pembuatan komposit yang menggunakan metode *hand lay up*. Pada gambar 4.9 (b) yang merupakan perbesaran 100x pada bagian lingkaran merah di gambar 4.9 (a). Selain *void*, terlihat adanya *matrix cracking* dan *debonding*. *Matrix cracking* terjadi akibat ketidakmampuan dari matriks untuk menahan regangan yang ada sehingga timbul retakan, dapat dilihat bahwa awal retakan akan mejalar dari matriks menuju serat sisal yang berfungsi sebagai penguat pada komposit. *Debonding* disebabkan lemahnya atau tidak terjadinya ikatan antara serat sisal dan *epoxy* sehingga serat sisal terlepas dari *matrix* dan menyebabkan bekas pada matriks berupa ruang kosong yang semula menjadi tempat melekatnya serat sisal.

Pada gambar 4.9 (c) dan (d) adalah perbesaran patahan yang terjadi pada ujung serat sisal. Dari gambar 4.9 (d) terlihat adanya *matrix cracking* dan juga serat sisal yang terputus saat pembebanan serta ada pula serat yang tidak terputus. Hal ini terlihat dari permukaan seratnya, serat yang tidak terputus saat pembebanan masih diselimuti matriks yang menempel hingga ke ujung serat sisal yang terlepas dari tempat awalnya. Sedangkan serat yang terputus, terlihat permukaan serat yang lebih rata dan tidak tertutupi dengan matriks. Terlepasnya serat dari matriksnya disebabkan karena adanya *debonding*. *Debonding* tersebut membuat serat sisal mengalami pergeseran saat pembebanan terjadi sehingga beban yang diterima oleh komposit tidak sepenuhnya atau tidak optimal disalurkan matriks ke serat sisal sehingga menyebabkan tegangan tarik pada komposit menjadi rendah. Adanya serat yang terputus dan tidak terputus ini juga membuktikan bahwa karena struktur serat berbentuk *chopped* (potongan) dengan arah yang acak juga mengakibatkan tidak optimalnya beban yang disalurkan dari matriks ke serat sisal sehingga tegangan tariknya tidak sebesar komposit dengan struktur serat yang tidak dipotong (*continue*).





Gambar 4.10 Foto SEM komposit Tipe Struktur *Continue* dengan fraksi volume 60% serat sisal

a) *Tampak Depan* (perbesaran 30x), (b) *Tampak Depan* (perbesaran 100x), (c) *Tampak Samping* (perbesaran 80x)

Pada gambar 4.10 (a) hasil SEM komposit dengan arah gaya keluar dari bidang gambar dapat dilihat masih terdapat beberapa *void* yang berupa titik-titik hitam pada perbesaran 40x. *Void* terjadi akibat terperangkapnya udara pada proses pembuatan komposit, *void* dapat terjadi saat proses pengadukan dan penuangan pada pembuatan komposit yang menggunakan metode *hand lay up*. Pada gambar 4.10 (b) yang merupakan perbesaran 500x pada bagian lingkaran merah di gambar 4.10 (a), terlihat adanya *matrix cracking* dan *debonding*. *Matrix cracking* terjadi akibat ketidakmampuan dari matriks untuk menahan regangan yang ada sehingga timbul retakan, dapat dilihat bahwa awal retakan akan mejalar dari matriks menuju serat sisal yang berfungsi sebagai penguat pada komposit. *Debonding* disebabkan lemahnya atau tidak terjadinya ikatan antara serat sisal dan *epoxy* sehingga serat sisal terlepas dari matriks dan menyebabkan bekas pada matriks berupa ruang kosong yang semula menjadi tempat melekatnya serat sisal. *Debonding* tersebut membuat serat sisal mengalami pergeseran saat pembebanan terjadi sehingga beban

yang diterima oleh komposit tidak sepenuhnya atau tidak optimal disalurkan matriks ke serat sisal

Pada gambar 4.10 (c) terlihat adanya *matrix cracking* dan juga serat sisal yang terputus saat pembebanan karena tidak sanggup lagi menahan beban. Karena komposit ini struktur seratnya adalah *continue*, maka semua serat pada gambar 4.10 ini dipastikan terputus ketika menerima beban. Terputusnya serat sisal tersebut menunjukkan bahwa serat sisal menerima beban maksimal yang disalurkan oleh matriks, sehingga tegangan tarik yang dihasilkan pun relatif lebih tinggi.





Halaman Ini Sengaja Dikосongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari serangkaian penelitian dan analisa data yang telah dilakukan pada komposit Epoxy – Serat Sisal, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan fraksi volume serat sisal pada komposit *epoxy*-serat sisal dapat meningkatkan nilai tegangan dan regangan tarik yang dihasilkan. Tegangan tarik tertinggi komposit yaitu 61.159 MPa didapatkan dari penambahan fraksi volume serat 60% dengan struktur *continue*. Regangan tarik tertinggi komposit sebesar 6.03 % didapatkan dari penambahan fraksi volume 60% dengan struktur *woven*.
2. Perbedaan struktur serat sisal berpengaruh terhadap nilai tegangan tariknya. Dengan fraksi volume yang sama, struktur serat *Continue* menghasilkan nilai tegangan tarik paling tinggi, kemudian struktur serat *Woven* dan struktur serat *Chopped* menghasilkan nilai tegangan tarik paling rendah. Hal tersebut karena arah serat yang searah dengan gaya membuat beban yang disalurkan dari matriks lebih optimal diterima oleh serat.
3. Perbedaan struktur serat sisal berpengaruh terhadap nilai regangan tariknya. Dengan fraksi volume yang sama, struktur serat *Woven* menghasilkan nilai regangan tarik paling tinggi, kemudian struktur serat *Continue* dan struktur serat *Chopped* menghasilkan nilai regangan tarik paling rendah.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Penelitian lebih lanjut bisa dikembangkan dengan menggunakan fraksi volume yang lebih besar dan menggunakan *hybrid* komposit sehingga dapat diketahui kekuatan optimumnya
2. Pemilihan Alat / bahan guna mencampur resin lebih diperhatikan agar mengurangi *void*

DAFTAR PUSTAKA

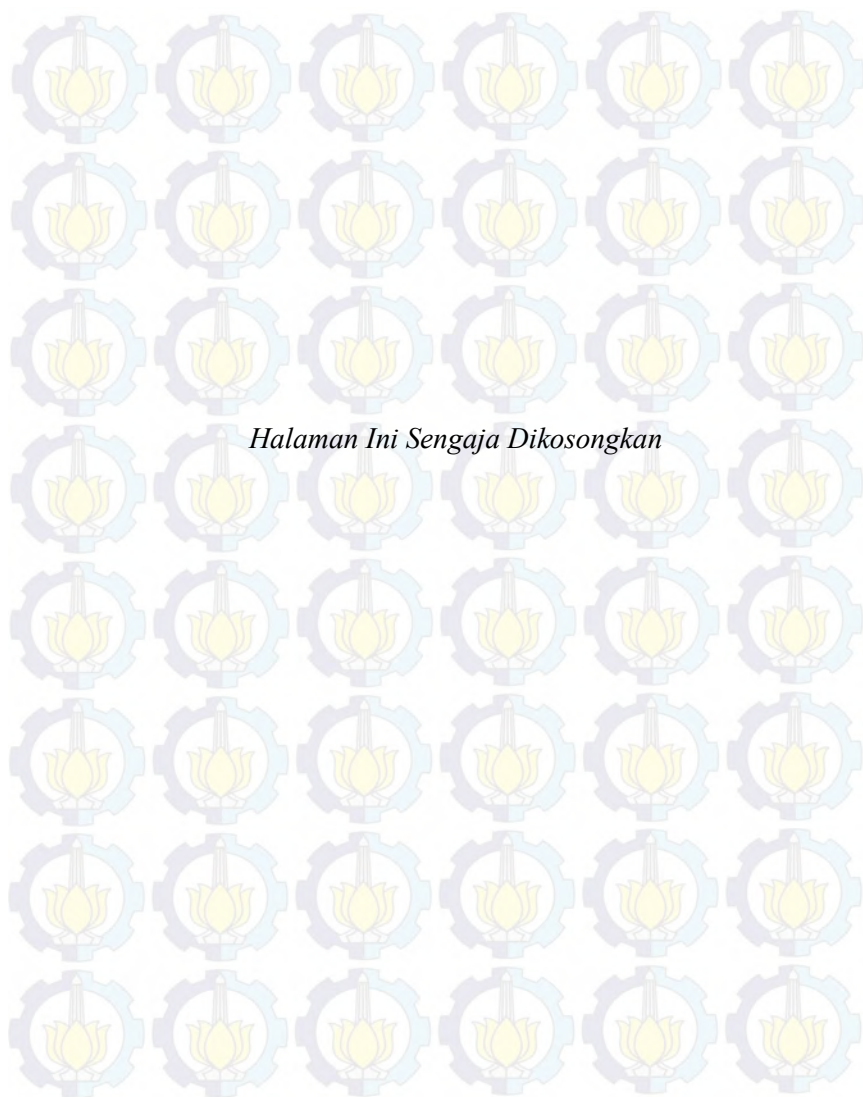
- [1] Brouwer, W. D. 2000. Natural fibre composites in structural components, alternative for sisal, *On the Occasion of the Joint FAO/CFC Seminar*, Rome, Italy.
- [2] Sudjindro, 2004. "Prospek Serat Alam Untuk Bahan Baku Kertas Uang". Indonesian Tobacco and Fiber Crops Research Institute
- [3] Callister, William D. 2007. *Materials Science and Engineering: An Introduction 7th Edition*. John Wiley & sons, Inc.
- [4] Paramasivam dan Abdulkalam, 2009. "Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer". Jurnal Kompetensi Teknik Vol.1, Universitas Negri Semarang
- [5] Teuku Rihayat dan Suryani, 2012. "Pembuatan Polimer Komposit Ramah Lingkungan Untuk Aplikasi Industri Otomotif dan Elektronik". Politeknik Negri Lhokseumawe
- [6] K Murali M.R , K.Mohana Rao, A.V Ratna Prasad, 2010. "*Fabrication and testing of natural fibre composite : Vakka, Sisal*". *Mechanical Engineering College, Vijawada 520 007 AP, India*.
- [7] Hari Om Maurya, M.K Gupta, R.K Srivastava, H.Singh. "*Study on the mechanical properties of epoxy composite using short sisal fibre*", *Departement of Mechanical Engineering Motilal Nehru National Institute of Technology Allahabad, India*.
- [8] A. Brent Strong, "*Controlling Polyester Curing – A Simplified View*", Brigham Young University, undated.
- [9] Ryan S, Tamara, "Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Lapisan *Stainless Steel Mesh* & Posisinya Terhadap Karakteristik Tarik Bending Komposit Serat Kaca Hibrida". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [10] Made Rasindarita, 2013. "Pengaruh Penambahan Prosentase Fraksi Volume *Hollow Glass Microsphere*

Komposit Hibrida Lamina Dengan Penguat Serat Anyaman Terhadap Karakteristik Tarik dan Bending” Institut Teknologi Sepuluh Nopember

- [11] F. HO, “*A Modified Weibull Theory for The Strength of Granular Brittle Material*”, San Fransisco Operations Office Department of Energy, 1979.
- [12] SP System.Composite Engginering Material
- [13] Mueller, D. H. dan Krobjilowski, A. 2003. New Discovery in The Properties of Composites Reinforced With Natural Fiber, *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 33, No. 2-October 2003, pp.111-130.
- [14] Riedel, U. 1999. Natural fibre reinforced biopolymers as construction materials – new discoveries, *2nd Int Wood and Natural Fibre Composites Symposium*, Kassel, Germany.
- [15] Sanadi, A.R., Caufield ,D. E., Jacobson, R. E., dan Rowel, R. M. 1995. Renewable Agricultural Fiber as Reinforcing Filler in Plastics: mechanical Properties of Kenaf Fiber-Polypropylene Composites, *Indust. Rng. Chem. Res.* 34: 1889-1896.
- [16] Brady G.S. dan Clavier H.R. 1991. *Materials Handbook*, 13th Edition, Mc. Graw Hill, London.
- [17] Preusser, S. 2006. *Use of natural fibres in composites in the automotive sector in Germany from 1999 to 2005*, Trade Commissioner – S&T, Canadian Embassy, Berlin, Germany.
- [18] Murherjee P.S., Satyanarayana K.G.1984. *Structure and properties of some vegetable fibres, part 1. Sisal fibre.* Journal of Materials Science. No. 19. pp.3925-3934.
- [19] Chand N., Tiwary R.K., Rohatgi P.K. 1988. *Bibliography resource structure properties of natural cellulosic fibres: an annotated bibliography.* Journal of Materials Science. No. 23. pp.381-387.
- [20] Leao, A. L., Rowell, R. M., dan Tavares, N. 1998, *Application of natural fibers in automotive industry in*

Brazil – Thermoforming Process, Science and Technology of Polymer and Advanced Materials, Edited by Prasad, *et al.*, Plenum Press, New York.

- [21] Adhi Kusumawati, 2009. "Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer". Jurnal Kompetensi Teknik Vol.1, Universitas Negri Semarang
- [22] Alexander Trofimow, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back. "Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores", Alchemie Technology 50 (2007)
- [23] Willey, John, "Mechanical Engineers Handbook Material and Design, volume I, Third Edition", (2006)
- [24] Pichai rusmee, 2005. "High Strength Composite"



BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap **Novia Ayu Laely Putri** dilahirkan di kota Surabaya, pada tanggal 05 Juni 1993. Dia merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis menghabiskan masa kecilnya di dalam keluarga yang bahagia dan penuh kasih sayang dari orang di sekelilingnya. Dalam keseharian penulis lebih akrab disapa dengan panggilan Opi. Penulis mengawali jenjang pendidikan dari TK.Aisiyah Waru Sidoarjo, SDN.Kepuh Kiriman 1 Waru Sidoarjo, SMPN 6 Surabaya, dan SMAN 6 Surabaya. Setelah lulus dari SMA, penulis memutuskan untuk melanjutkan studi di salah satu perguruan tinggi terbaik di Indonesia yaitu Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama masa studi di Teknik Mesin, penulis bergabung dengan organisasi mahasiswa Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM) dari periode 2012 hingga 2015, selain itu juga aktif sebagai grader dan asisten laboratorium Metalurgi serta aktif pada kepanitiaan acara yang ada di Jurusan Teknik Mesin. Cita-cita penulis yaitu dapat membanggakan dan membahagiakan kedua orang tua.